

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

**PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E
URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS**

Bianca Marques Figueiredo Leal

2018



UFRJ

**PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E
URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS**

Bianca Marques Figueiredo Leal

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Cultura, Paisagem e Ambiente Construído.

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Rio de Janeiro
Março de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Lp Leal, Bianca Marques Figueiredo
Propostas para o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo através de ferramentas digitais / Bianca Marques Figueiredo Leal. -- Rio de Janeiro, 2018.
183 f.

Orientador: Mônica Santos Salgado.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2018.

1. Ensino de arquitetura e urbanismo. 2. BIM. 3. Realidade aumentada. 4. Realidade virtual. 5. Prototipagem rápida. I. Salgado, Mônica Santos, orient. II. Título.

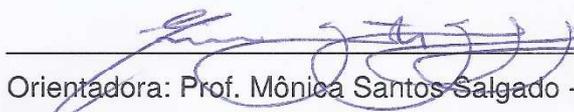
**PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E
URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS**

Bianca Marques Figueiredo Leal

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa em Cultura, Paisagem e Ambiente Construído.

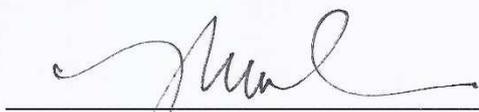
Aprovada por:



Orientadora: Prof. Mônica Santos Salgado - PROARQ/FAU-UFRJ



Prof. Paulo Afonso Rheingantz - PROARQ/FAU-UFRJ



Prof. Regina Coeli Ruschel – FEC UNICAMP

Rio de Janeiro
Março de 2018

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus pela oportunidade de ter feito esse mestrado.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe e ao meu avô, pelo apoio e suporte que sempre me proporcionam.

Ao meu namorado, amigo e companheiro, Mauro Cezar, por estar sempre ao meu lado pronto para me incentivar e apoiar em todos os momentos.

À professora Mônica Salgado pela orientação, paciência, conselhos e contribuições dadas ao longo desses dois anos de pesquisa e por ter me recebido no GEPARQ.

Aos colegas do GEPARQ que me acolheram no grupo de pesquisa e sempre estavam dispostos a ajudar da melhor forma.

Aos professores Regina Ruschel e Paulo Afonso pela disponibilidade e contribuições que fizeram a pesquisa.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Àos professores e as secretárias do PROARQ que sempre estiveram a disposição para auxiliar no que fosse necessário.

Aos meus amigos pela força, palavras de carinho e contribuição afetiva que me deram.

“Se você quer algo novo, precisa
parar de fazer algo velho.”

Peter Drucker

RESUMO

PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS

Bianca Marques Figueiredo Leal

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

O uso de tecnologia é um processo irreversível que trouxe mudanças na atividade profissional do arquiteto, influenciou sua maneira de projetar e, conseqüentemente, ocasionou modificações na formação profissional em arquitetura. A utilização de tecnologia no ambiente educacional instiga o interesse dos alunos e estimula a aprendizagem. Com isso, torna-se necessário repensar o processo de ensino-aprendizagem para que as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias sejam apresentadas aos estudantes de arquitetura durante sua formação. Contudo, pesquisas apontam que as universidades não estão acompanhando a velocidade das mudanças tecnológicas, tanto na atualização do currículo como na formação dos professores. O resultado é uma defasagem entre as possibilidades existentes e as práticas em sala de aula. Nesse sentido, a pesquisa possui o objetivo de apresentar aos docentes possibilidades de incorporação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino de Arquitetura e Urbanismo. As TICs consideradas na pesquisa foram BIM, Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Prototipagem Rápida e Fabricação Digital. Os métodos adotados foram Revisão Sistemática de Literatura (RSL) e revisão de literatura sem meta-análise. A RSL foi utilizada para analisar publicações sobre experiências didáticas que exploram TICs no ensino de arquitetura e urbanismo, já o segundo método verificou publicações que tratam sobre diferentes usos das TICs que podem ser adaptados e aplicados ao meio acadêmico. Os resultados apresentaram um panorama sobre a aplicabilidade de tecnologias e também possibilidades ainda pouco exploradas de forma a propor estratégias para a adoção dessas tecnologias no ensino de arquitetura e urbanismo. A pesquisa indica que o ensino de arquitetura e urbanismo pode se beneficiar do grande potencial oferecido pelas TICs.

Palavras-chave: ensino de arquitetura e urbanismo; BIM; realidade aumentada; realidade virtual; prototipagem rápida

Rio de Janeiro

Março de 2018

ABSTRACT

PROPOSALS FOR THE TEACHING OF THE CONTENT OF ARCHITECTURE AND URBANISM THROUGH DIGITAL TOOLS

Bianca Marques Figueiredo Leal

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Abstract da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

The use of technology is an irreversible process that brought changes in the professional activity of the architect, influenced his way of designing and, consequently, caused changes in the professional training in architecture. The use of technology in the educational environment instigates student interest and stimulates learning. With this, it becomes necessary to rethink the teaching-learning process so that the possibilities offered by the new technologies are presented to the students of architecture during their formation. However, research shows that universities are not following the speed of technological changes, both in updating the curriculum and in the training of teachers. The result is a gap between existing possibilities and practices in the classroom. In this sense, the research has the objective of presenting to teachers the possibility of incorporating Information and Communication Technologies (ICTs) in the teaching of Architecture and Urbanism. The ICTs considered in the research were BIM, Augmented Reality, Virtual Reality, Rapid Prototyping and Digital Manufacturing. The methods adopted were Systematic Review of Literature (SRL) and literature review without meta-analysis. SRL was used to analyze publications about didactic experiences that explore ICTs in architecture and urbanism teaching, while the second method verified publications that deal with different uses of ICTs that can be adapted and applied to the academic environment. The results presented a panorama about the applicability of technologies and also possibilities still little explored in order to propose strategies for the adoption of these technologies in the teaching of architecture and urbanism. Research indicates that teaching architecture and urbanism can benefit from the great potential offered by ICTs.

Key-words: teaching of architecture and urbanism; BIM; augmented reality; virtual reality; rapid prototyping

Rio de Janeiro

Março 2018

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFLEXÃO SOBRE OS CONTEÚDOS ENSINADOS EM ARQUITETURA E URBANISMO.....	9
2.1 Considerações sobre a didática do ensino superior	9
2.2 Características do ensino de arquitetura e urbanismo: o papel do docente	17
2.2.1 Contextualização do ensino e da legislação de arquitetura e urbanismo	18
2.2.2 Legislação educacional dos cursos de Arquitetura e Urbanismo.....	21
2.3 Tecnologias digitais e o ensino de arquitetura e urbanismo	24
2.3.1 Motivação e curiosidade no ensino	29
2.4 Considerações sobre o capítulo	31
3 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICS) EM ARQUITETURA E URBANISMO	32
3.1 Breve histórico das revoluções industriais.....	32
3.2 TICs no cenário da 3ª e 4ª Revolução Industrial	42
3.2.1 Modelagem da Informação da Construção (BIM)	43
2.2.1.1 Interoperabilidade no desenvolvimento de projetos.....	50
2.2.1.2 Adoção do BIM no Brasil.....	53
3.2.2 Realidade Aumentada (RA)	56
3.2.3 Realidade Virtual (RV)	58
3.2.4 Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD).....	61
3.3 Considerações sobre o capítulo	64
4 USO DE TICS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO	65
4.1 TICs no ensino dos conteúdos de “construção”	69
4.2 O papel das TICs no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”	76
4.3 TICs no ensino dos conteúdos de “história”	84
4.4 “Geometria” utilizando ferramentas digitais.....	85
4.5 TICs no ensino dos conteúdos de “projeto”	94
4.6 Avaliação dos dados obtidos na RSL.....	105
4.7 Considerações sobre o capítulo	109
5 POSSIBILIDADES POUCO EXPLORADAS DE ADOÇÃO DAS TICS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO.....	111

5.1 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “construção”	111
5.2 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”	118
5.3 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “história”	122
5.4 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “geometria”	130
5.5 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “projeto”	134
5.6 Possibilidades a serem exploradas no ensino de diferentes categorias ..	140
5.7 Consolidação das possibilidades pouco exploradas	143
5.8 Considerações sobre o capítulo	152
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	156
REFERÊNCIAS	163

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O tema desta pesquisa emergiu das transformações que a indústria da construção civil está passando nos processos de projeto e de construção, provocadas pelos desenvolvimentos tecnológicos da 3ª e 4ª Revoluções Industriais. Os maiores avanços tecnológicos começaram a ocorrer na 1ª Revolução Industrial e foram evoluindo até o atual mundo em rede e tecnológico da 4ª Revolução Industrial. Cada revolução marcou um ponto de virada da história, influenciando, de alguma forma, quase todos os aspectos da vida cotidiana, e com a arquitetura não foi diferente. A arquitetura e urbanismo também acompanharam o fluxo de mudança adequando-se às novas realidades (CELANI; FRAJNDLICH, 2016).

Com as Revoluções Industriais, houve um aprimoramento do método de projeto em razão das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) que surgiram como ferramentas para auxiliar no processo de projeto. Contudo, com os avanços das possibilidades oferecidas pelas TICs, as tecnologias passaram a integrar também o processo de construção e de planejamento, se tornando importante no cotidiano e indispensável para a maioria dos profissionais (RIGHI, 2009). Sobre isso, Carvalho e Savignon (2012, p. 8) falam que “o arquiteto contemporâneo precisa ser capaz de lidar com muitos equipamentos e aplicativos de comunicação digital e, ao mesmo tempo, ser capaz de coordenar o fluxo de toda essa informação para transformá-la em algo que venha a ser construído”.

Ao mesmo tempo, as revoluções industriais repercutiram em novas demandas no mercado de trabalho, ocorrendo mudanças na atuação do arquiteto ao longo do tempo. E, naturalmente, essas mudanças exerceram rebatimento na formação profissional. A respeito disso, Salgado (2004a) expressa que é importante discutir a formação profissional em arquitetura para que a atuação desse profissional esteja alinhada com as necessidades da sociedade e do meio ambiente onde atua.

Acerca desse aspecto, Carvalho e Savignon (2012) comentam que o arquiteto contemporâneo, além da formação multidisciplinar, deve ter conhecimentos em tecnologia digital, o que gera a necessidade de revisão do processo de formação dos profissionais, uma vez que se torna necessário capacitar esses profissionais para enfrentar os desafios da arquitetura digital.

Paralelamente, observa-se que as práticas em sala de aula nem sempre acompanham o ritmo das inovações que surgem e, assim, não incorporam as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias digitais no ensino, de modo a dinamizar a aula lecionada pelo professor. Carvalho e Savignon (2012) expressam que

as universidades não estão acompanhando a velocidade das mudanças, tanto na atualização do currículo como na formação dos professores. Complementando esse pensamento, Salgado (2004a, s.p.) destaca que é

necessário realmente ensinar aos estudantes de arquitetura a explorar todo o potencial oferecido pela informática para que os futuros profissionais não incorram nos erros do passado, quando o uso do computador acabou por “informatizar o caos” e não “revolucionar a forma de trabalhar”, como seria esperado.

Assim, no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais, certas Tecnologias de Informação e Comunicação se destacam na indústria da construção civil. E as TICs escolhidas como recorte tecnológico dessa dissertação foram *Building Information Modeling* (BIM), Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD).

Vale ressaltar que a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), TIC da 4ª Revolução Industrial, ainda está sendo incorporada na construção civil por intermédio das construtoras e também existem informações sobre edifícios e eletrodomésticos que usam essa inteligência. Entretanto, a IoT ainda está em desenvolvimento e as outras tecnologias citadas anteriormente são mais viáveis de serem incorporadas ao ensino de arquitetura considerando o cenário de desenvolvimento tecnológico brasileiro de 2018. Por isso, o recorte escolhido para essa pesquisa foram as TICs citadas anteriormente: BIM, RA, RV, PR e FD.

Particularmente neste contexto, existem muitas potencialidades a serem exploradas e uma delas refere-se às possibilidades oferecidas por essas TICs no ensino de arquitetura e urbanismo, que serão abordadas nessa dissertação.

Questão

Nesse sentido, diante das emergentes inovações tecnológicas da 3ª e 4ª Revoluções Industriais e da utilização de novas tecnologias pelo mercado de trabalho, surge a necessidade de formar um profissional que possa atender às demandas da sociedade.

Celani et al. (2017, p. 30) ressaltam que “mesmo diante da popularização dessas novas tecnologias [CAD/CAE/CAM], sua inserção no ensino de arquitetura no Brasil ainda se dá de maneira pulverizada, por meio de disciplinas que vão sendo adicionadas ao currículo de maneira isolada e com foco no ensino do *software*”. Com o mesmo raciocínio, Cabral Filho e Santos (1998 apud DITZ, 2004, p. 73) “ênfaticamente enfatizam que deve haver uma reflexão para não se incorrer no mesmo erro do ensino tradicional do CAD, que, em muitos cursos, tendem a privilegiar o ensino restrito do *software* em detrimento de uma abordagem mais livre, especulativa e interativa”. Adicionalmente, parte do corpo

docente que atua neste momento na formação profissional dos arquitetos possui dificuldade de se apropriar de novas tecnologias e de integrá-las ao currículo (SANTOS; BARISON, 2011). Conseqüentemente, o uso de tecnologia não tem sido empregado na exposição dos conteúdos próprios à formação em arquitetura e urbanismo.

Por isso, entende-se que a associação de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo pode trazer contribuições para a formação profissional, além de antecipar futuras experiências profissionais. Visto isso, essa dissertação visa responder à duas questões:

- (1) de que forma as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) podem ser incorporadas pelos professores em diferentes áreas do conhecimento dos cursos de graduação de arquitetura e urbanismo?**
- (2) as TICs podem ser introduzidas no ensino de todas as áreas obrigatórias do curso de arquitetura e urbanismo?**

Objetivo geral e objetivos específicos

A fim de responder as questões acima, foi traçado como objetivo geral da pesquisa: **explorar possibilidades oferecidas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo para propor aos professores uma mudança na abordagem dos conteúdos.**

A premissa é que os professores, foco da pesquisa, possam difundir os conhecimentos de arquitetura e urbanismo através da incorporação das funcionalidades oferecidas pelas tecnologias no ensino de diferentes disciplinas do curso sem a necessidade de alteração dos currículos aprovados para as disciplinas. E, dessa forma, proporcionar um ensino mais atrativo e estimulante para o aluno.

Nesse contexto, ao estudar formas de se apropriar de TICs, o docente acaba apresentando aos alunos diferentes alternativas de uso de tecnologia estimulando, assim, esses estudantes a aprenderem ferramentas. Conseqüentemente, promove-se a formação de um profissional que se apropria de tecnologia não porque estudou ou fez um curso a respeito, mas porque viu um professor usando em sala de aula.

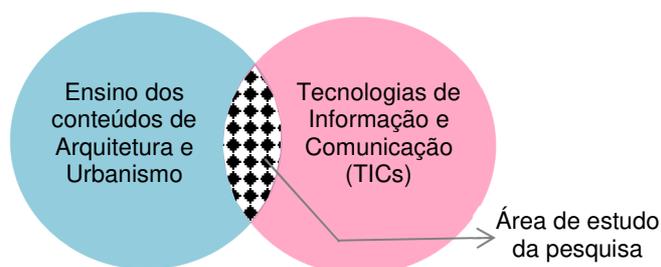
Como desdobramento da pesquisa, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar a estruturação curricular do curso de arquitetura e urbanismo com base nas Diretrizes Curriculares de 2010 em vigor em 2018;
- Identificar e caracterizar as Tecnologias de Informação e Comunicação em arquitetura e urbanismo que se destacam no cenário da 3^a e 4^a Revoluções Industriais;

- Investigar as possibilidades já exploradas de uso de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo;
- Apresentar potencialidades pouco exploradas de uso das TICs no ensino.

Nesse sentido, a pesquisa possui uma proposta multidisciplinar de trabalhar com a interseção entre dois temas: (1) ensino dos conteúdos de Arquitetura e Urbanismo; e (2) Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), conforme Figura 1.

Figura 1 - Delimitação da dissertação



Fonte: Autor

Vale destacar que essa dissertação dialoga mais sobre TIC aplicada à arquitetura e urbanismo do que propriamente sobre ensino, uma vez que a pesquisa trata de possibilidades de adoção de tecnologia pelo docente na aplicação dos conhecimentos em arquitetura e urbanismo.

Justificativa

O propósito dessa investigação se justifica pelo fato das TICs serem tecnologias que oferecem potenciais interessantes a serem explorados de modo que seria importante para o curso de Arquitetura e Urbanismo ter estas potencialidades investigadas no ensino de diferentes disciplinas da graduação.

Sobre isso, Braga et al. (2012, p. 139) comentam que há um potencial educacional de aplicação de TICs e destaca que existe “um desafio em produzir materiais instrucionais, que permitam aos professores explorarem as potencialidades dos ferramentais disponíveis e assim fazerem um bom uso dessa tecnologia no processo de ensino e aprendizagem”. De modo igual, Dittz (2004, p. 168) cita que há “uma crescente necessidade de orientações, por parte de educadores e pesquisadores, na escolha dos recursos pedagógicos, a fim de auxiliá-los na preparação e uso de material didático e dos ambientes de ensino-aprendizagem”. Com isso, a presente pesquisa visa orientar os docentes em relação às possibilidades e potencialidades oferecidas pelas tecnologias, de modo que eles consigam ter base para introduzi-las em atividades acadêmicas.

Pupo (2009, p. 197, grifo nosso) destaca que

são vastas as possibilidades como **cada disciplina** pode se envolver com tecnologias de prototipagem e fabricação digitais. O que vai garantir o sucesso e o aproveitamento absoluto dessa integração, sem dúvida, é a informação e **conscientização do corpo docente** em estimular esta prática. As experiências demonstram que a **cada nova geração de alunos, é maior o entusiasmo e a facilidade de absorção de novas tecnologias.**

Seguindo esse raciocínio, Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016, p. 265) indicam que “a nova geração de alunos tem uma habilidade natural de usar tecnologia e informação digital” com grande facilidade em introduzir “novas ferramentas e dispositivos móveis em suas atividades diárias”. As Tecnologias de Informação e Comunicação, segundo Paula (2015, p. 11), “estão presentes no cotidiano das pessoas, alterando o modo como se relacionam entre si e com o mundo”. E acrescenta que “a nova perspectiva espaço-temporal definida pelas TICs também influi na maneira com que as pessoas compartilham, aprendem e se apropriam do conhecimento”. Nesse contexto, o *World Economic Forum* (WEF) - organização internacional sem fins lucrativos que reúne líderes da sociedade para discutir questões de importância mundial – elaborou um documento chamado “*New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning through Technology*” que comenta que a tecnologia é vista como uma ferramenta que pode ser utilizada como complemento e extensão da aprendizagem, além de possibilitar uma experiência mais interativa (WEF, 2016).

De acordo com Edzie (2014 apud Behzadan, Vassigh e Mostafavi, 2016), as principais causas de abandono do curso são a falta de motivação e engajamento no processo de aprendizagem. Em contraposição, as tecnologias causam fascínio nas pessoas, especialmente nos estudantes, o que pode agir como um catalisador pelo interesse nos estudos (BRAGA et al., 2012). Com isso, pode-se afirmar que levar a tecnologia para a sala de aula pode ser uma maneira de estimular a aprendizagem e facilitar a apropriação dos conteúdos. Dessa forma, com as TICs promovendo um ensino mais dinâmico é possível integrar ferramentas durante o processo de ensino, estimulando equipes ao trabalho colaborativo - característicos das empresas de projeto comprometidas com as novas tecnologias - e, também, mantendo o aluno motivado e, assim, evitando o abandono do curso.

Em paralelo, após a regulamentação da Portaria nº 1.770/1994 - que introduziu a área de conhecimento ‘Informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo’ - as tecnologias foram inseridas nos cursos de forma apressada sem a devida reflexão sobre seu impacto no processo de ensino-aprendizagem das diversas disciplinas (FARIAS SEGUNDO, 2010). E, também, não foi pensado quais conhecimentos e habilidades os professores precisam se apropriar para incluir a informática em seus conteúdos e práticas em aula. Igualmente, não houve uma reflexão sobre como essas tecnologias

poderiam contribuir no ensino, de modo a facilitar a assimilação dos diferentes conteúdos ensinados no curso.

Segundo Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016, p. 266, tradução nossa), “os instrutores devem treinar e educar os alunos com as últimas e melhores ferramentas e métodos para prepará-los para futuras carreiras avançadas que estão se tornando cada vez mais dependentes de tecnologia”. Dessa forma, torna-se necessário repensar o processo de ensino-aprendizagem para que as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias sejam apresentadas aos estudantes de arquitetura durante sua formação profissional.

Com isso, a pesquisa propõe uma mudança na abordagem dos professores ao ensinar os conteúdos curriculares da graduação de arquitetura e urbanismo a partir da inclusão de TICs, proporcionando novas experiências para os docentes e discentes. Essas tecnologias passarão a ser o meio pelo qual os alunos compreenderão os conceitos ensinados nas disciplinas, sendo este último o principal foco da disciplina. Vale destacar que o uso de *softwares* nas aulas não tem o objetivo de ensinar os alunos a mexerem com os programas. A proposta é partir das potencialidades que essas ferramentas oferecem para auxiliar a aprendizagem em sala de aula e, também, instigar os interessados a estudarem e aprofundarem seus estudos nesses *softwares* ou ferramentas.

Metodologia

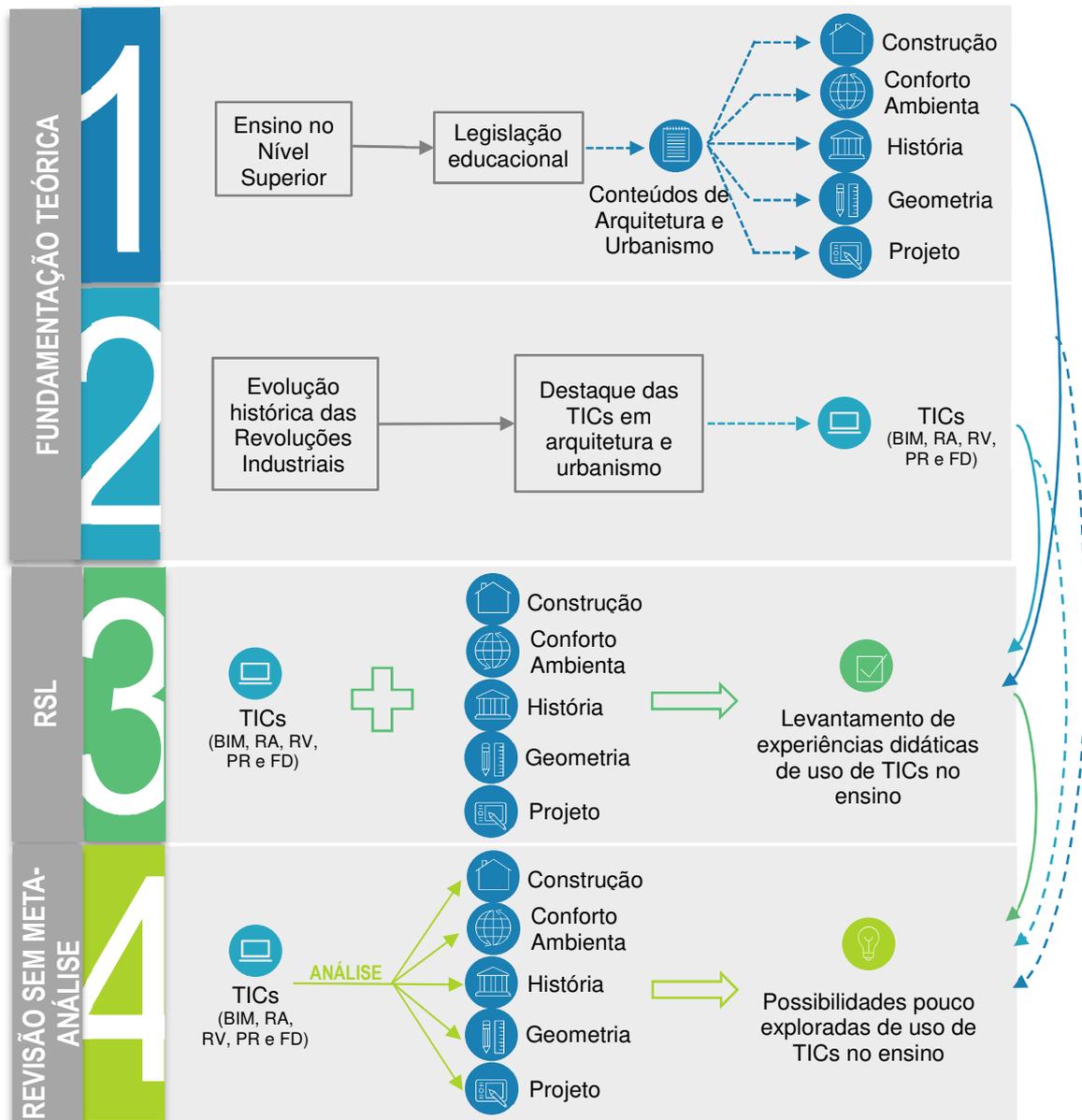
Para o desenvolvimento do trabalho, o procedimento metodológico da presente pesquisa aplicada é qualitativo, quanto a abordagem do problema, e exploratório e descritivo, quanto aos objetivos. Em relação aos procedimentos técnicos, foram adotadas a pesquisa bibliográfica e pesquisa documental para selecionar documentos relacionados ao ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo e às Tecnologias de Informação e Comunicação.

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas e cada etapa corresponde a um capítulo da dissertação, conforme mostra a Figura 2. A fundamentação teórica foi realizada nas etapas 1 e 2 que correspondem, consecutivamente, aos capítulos 2 e 3. Essas etapas produziram seis informações que foram utilizadas nas etapas posteriores, que são: conteúdos de “construção”, conteúdos de “conforto ambiental”, conteúdos de “história”, conteúdos de “geometria”, conteúdos de “projeto” e TICs.

Em seguida, realizou-se uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) que analisou publicações que tratam sobre experiências didáticas que exploraram tecnologias digitais no ensino de arquitetura e urbanismo compondo na etapa 3 (capítulo 4). Para realizar a RSL, foi utilizado como base as categorias das áreas do saber das

Diretrizes Curriculares, classificadas na subseção 2.2.2, e as TICs apontadas no capítulo 3, para buscar a relação das tecnologias digitais com o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Ou seja, as publicações da etapa 3 foram examinadas com base nas informações levantadas nas etapas 1 e 2.

Figura 2 - Método da pesquisa



Fonte: Autor

Por fim, a análise dos resultados da etapa 3 em conjunto com as informações das etapas 1 e 2, permitiram vislumbrar possibilidades pouco exploradas de utilização de TICs no ensino, culminando na etapa 4 (capítulo 5). Essa última etapa se baseou na revisão de literatura sem meta-análise para verificar publicações que tratam sobre

diferentes usos das TICs que podem ser adaptados e aplicados ao meio acadêmico. Os métodos escolhidos para seleção de textos das etapas 3 e 4 são abordados com mais detalhes no início dos capítulos 4 e 5, respectivamente.

Estruturação da dissertação

A dissertação foi estruturada em seis capítulos. Após a introdução, o **segundo capítulo** trata sobre o ensino no nível superior considerando como foco a figura do docente universitário. Em seguida, são levantados aspectos relacionados ao papel do professor de arquitetura e urbanismo e à contextualização do ensino de arquitetura, relacionando seu surgimento com as legislações educacionais e profissionais incidentes na área. Por fim, verifica-se como está sendo tratada a tecnologia no ensino e a importância da motivação e da curiosidade.

O **terceiro capítulo** introduz a arquitetura no contexto histórico das revoluções industriais, objetivando compreender como a arquitetura e a construção civil se comportaram frente às novas necessidades da sociedade, que foram surgindo com as evoluções tecnológicas. Em seguida, são apresentadas as TICs ligadas à arquitetura que se destacaram no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais.

O **quarto capítulo** utiliza como base as informações dos capítulos 2 e 3 para buscar e analisar publicações que tratam sobre experiências didáticas que exploram tecnologias digitais no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

O **quinto capítulo** aborda possibilidades pouco exploradas de utilização de TICs no ensino a partir da leitura de trabalhos que utilizam as TICs para fins profissionais ou em outros campos, mas que demonstram potencial de serem aplicados no meio acadêmico.

Por último, as **considerações finais** sintetizam os resultados obtidos, especifica se o objetivo e as questões da pesquisa foram alcançados, evidencia os benefícios do uso de tecnologia para os professores e alunos assim como as barreiras a serem enfrentadas pelos docentes. Também trata do domínio das TICs e ferramentas que o professor precisa ter, expõe a contribuição e limitações da pesquisa e, por fim, traz sugestões para trabalhos futuros.

REFLEXÃO SOBRE OS CONTEÚDOS ENSINADOS EM ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo inicia com uma apresentação geral sobre didática no nível superior considerando como foco a figura do docente universitário. Em seguida, são levantados aspectos pedagógicos relacionados a formação do professor de arquitetura e urbanismo. Após, faz-se a contextualização do ensino de arquitetura relacionando seu surgimento com as legislações educacionais e profissionais incidentes na área. A legislação educacional em vigor é apresentada e são destacados os conteúdos obrigatórios do curso de graduação em arquitetura e urbanismo, que serão utilizados nos próximos capítulos. Por fim, verifica-se como está sendo tratada a tecnologia no ensino e a importância da motivação e da curiosidade.

2.1 Considerações sobre a didática do ensino superior

A eficácia do ensino superior depende de três variáveis: o aluno, o professor e a organização do curso (GIL, 2015b). Essa seção prioriza a variável do professor universitário que possui o papel de facilitador da aprendizagem e de "mediador entre o conteúdo e o entendimento dos alunos" (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012, p. XX).

Diferente dos professores do ensino médio e fundamental que passam por uma formação pedagógica no curso de bacharelado ou licenciatura, o professor universitário, mesmo possuindo título de Mestre ou Doutor, na maioria dos casos não passam por qualquer processo de formação pedagógica ficando, assim, uma lacuna em sua formação (RHEINGANTZ, 2000; GIL, 2015a, 2015b). Um exemplo dessa situação ocorre no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo que apenas possui bacharelado e a maioria dos cursos de Pós-graduação *stricto sensu* não busca desenvolver uma preparação pedagógica para os futuros docentes.

Como consequência desse cenário, os procedimentos "adotados são selecionados a critério do docente, mesmo quando este não sabe, conscientemente, que o faz" e "em grande parte, os professores reproduzem em sala o mesmo modo como foram ensinados, ou então o negam, adotando uma postura oposta" (RODRIGUEZ, 2008, p. 23). Dessa maneira, as questões didáticas recebem menos atenção no nível superior e uma justificativa para isto é o fato desse professor lidar com adultos (GIL, 2015a, 2015b). Seguindo este raciocínio, o mesmo autor cita que normalmente é priorizado no docente universitário o domínio do conteúdo que leciona e

experiência profissional. Svinicki e McKeachie (2012) reforçam que o ensino eficaz demanda mais do que aquisição de competências.

Apesar dessa lacuna na formação em docência superior, o professor possui papel fundamental na formação dos estudantes e, para isso, precisa de “habilidades pedagógicas suficientes para tornar o aprendizado mais eficaz” (GIL, 2015b, p.1). O docente dirige as atividades de aprendizagem dos alunos objetivando que eles sejam responsáveis pelo próprio aprendizado, sendo o processo de ensino uma combinação da direção do professor com a atividade autônoma do aluno (IBE, s/d).

Para o professor universitário desenvolver seus próprios métodos, ele precisa entender a teoria básica do ensino e da aprendizagem (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012), que possuem significados diferentes. Alguns autores apresentam visões divergentes com relação a definição de ensino e aprendizagem. Ensino, segundo Gil (2015b), se relaciona com o professor como elemento principal da transmissão de conhecimentos. Por outro lado, Freire (1996, s.p.) acredita que “ensinar não é transmitir conhecimento” e sim “criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”. Já Saviani (1999, p. 57), ao falar sobre a Escola Nova, considera o ensino centralizado “nas motivações e interesses da criança [aluno] em desenvolver os procedimentos que a conduzam à posse dos conhecimentos capazes de responder às suas dúvidas e indagações”, ou seja, privilegia o “processo de obtenção de conhecimento” do aluno.

A aprendizagem, para Turra et al. (1975), tem o propósito fundamental de modificar o comportamento do aluno. Da mesma forma, Burton e Mursell (1969 apud TURRA et al., 1975, p. 123) expressam que “não é uma simples acumulação de conteúdos, mas uma influência vital e construtiva no sentido de uma melhor maturidade mental, emocional e social”. Gil (2015b) acredita que aprendizagem tange o aluno na descoberta e aquisição de conhecimentos. E para Saviani (1999, p. 21), a aprendizagem ocorre em “decorrência espontânea do ambiente estimulante e da relação viva que se estabeleceria entre os alunos e entre estes e o professor”.

Assim, “o ato de ensinar não implica necessariamente o aprendizado daquele que o recebe” e “o aprendizado dos estudantes é influenciado pela maneira como o professor procura adequar as estratégias de ensino às necessidades e às expectativas dos estudantes” (GIL, 2015b, p. 79).

Esses diferentes pontos de vista ocorrem por existirem abordagens pedagógicas discordantes que adotam perspectivas distintas com relação ao papel do professor, do aluno, dos objetivos educacionais, do conteúdo programático, entre outros. Essas abordagens são tendências da educação categorizadas em escolas pedagógicas. As características dessas escolas foram resumidas no Quadro 1 elaborado pela equipe técnica do CENAFOR (1988).

Quadro 1 - Escolas pedagógicas

TENDÊNCIAS DA EDUCAÇÃO COMPONENTES CURRICULARES	ESCOLA TRADICIONAL	ESCOLA NOVA	ESCOLA TECNICISTA	ESCOLA CRÍTICA
PROFESSOR	- É o transmissor de conteúdo aos alunos O PROFESSOR	- É o facilitador da aprendizagem ORIENTADOR	- É o técnico que seleciona/organiza e aplica um conjunto de meios que garantem a eficiência e eficácia do ensino.	- É o educador que direciona e conduz o processo Ensino-aprendizagem. - Autoridade competente. EDUCADOR
ALUNO	- Um ser "passivo" que deve assimilar os conteúdos transmitidos pelo professor.	- Um ser "ativo"; centro do processo ensino-aprendizagem	- Um elemento para quem o material é preparado	- Uma pessoa concreta, objetiva, que determina e é determinada pelo social/político/econômico/individual: (pela história)
OBJETIVOS EDUCACIONAIS	- Obedecem à sequência lógica dos conteúdos - Não são muito complicados - Baseados em documentos legais	- Obedecem ao desenvolvimento psicológico do aluno AUTO-REALIZAÇÃO	- Operacionalizado e categorizados a partir de classificações: gerais (educacionais) e específicas (instrucionais) VERBOS PRECISOS	- Definidos a partir das <u>necessidades concretas</u> do contexto histórico-social no qual se encontram os sujeitos.
CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS	- Selecionados a partir da cultura universal acumulada, organizados em disciplinas. QUANTIDADE DE CONHECIMENTOS	- Selecionados a partir dos interesses dos alunos DESENVOLVIMENTO PSICOLÓGICO	- Qualquer conteúdo ESTRUTURADOS SEGUNDO OS OBJETIVOS	- Selecionados a partir de culturas dominantes (ciência, filosofia, arte, política, história, ...) APROPRIAÇÃO PARA SUPERAÇÃO
METODOLOGIA	- Aula centrada no Professor (expositiva) - Exercícios de fixação (leituras-cópias)	- Atividades centradas no aluno: . trabalhos em grupo/pesquisas . jogos/criatividade . experiência	- Ênfase muito grande nos meios: recursos audiovisuais, instrução programada, tecnologia de ensino, ensino individualizado (módulos instrucionais), máquinas de ensinar	- Distingue claramente os papéis de professor e aluno para fazer a articulação entre eles – utiliza-se de todos os meios que possibilitem a apreensão crítica dos conteúdos
AVALIAÇÃO	- Valorização dos aspectos cognitivos com ênfase na memorização. AVALIAÇÃO PARA O PROFESSOR	- Valorização dos aspectos afetivos (atitudes) com ênfase em autoavaliação. AVALIAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DO ALUNO	- Dos objetivos propostos com ênfase na produtividade do aluno sob a forma de um sistema de avaliação. COMPORTAMENTO DE ENTRADA E SAÍDA	- Está preocupada com a superação do estágio do senso comum (desorganização do conteúdo) para a consciência crítica (sistematização dos conteúdos)
ALUNO EDUCADO	- Domina o conteúdo cultura universal transmitido pela escola.	- Alunos criativo, que "aprendeu a aprender" - Participativo	- O aluno eficiente - produtivo - que lida "cientificamente" com os problemas da realidade.	- O aluno que domina solidamente os conteúdos e, portanto, percebe-se determinado e capaz de operar – conscientemente – mudanças na realidade.
ESCOLA	- Privilégio das camadas mais favorecidas. "AUTORITÁRIA"	- Escola proclamada para todos. 'DEMOCRÁTICA'	- Sociedade sem escola: . tele-educação . ensino à distância . ensino não formal	- É muito importante e deve ser de boa qualidade para todas as camadas da população.
ORGANIZAÇÃO DA ESCOLA	- Funções claramente definidas e hierarquizadas NORMAS DISCIPLINARES RÍGIDAS	- Funções se confundem (autoridade disfarçada) AFROUXAMENTO DAS NORMAS DISCIPLINARES	- Modelo empresarial aplicado à escola - Divisão entre planejamento (quem planeja) e execução (quem executa)	- A organização é um meio para que a escola funcione bem nos seus múltiplos aspectos.
INTERAÇÃO PROFESSOR- ALUNO	- Na maioria das vezes uma interação autoritária.	- Na maioria das vezes uma interação "democrática" – autoritarismo diluído na fisionomia de camaradagem	- Esta questão não está explicitada nesta tendência.	- O diálogo é valorizado, o aluno respeitado, professor é professor e educando é o aluno. O professor interage com o aluno também em função do conteúdo do ensino.

Fonte: Este trabalho foi elaborado pela equipe técnica do CENAFOR (Janete B. da Silva, Judite Daré, José C. Fusari, Luiz A. C. Franco, Mário Sérgio Cortella, Selma Pimenta, Sueli Giamelaro, Osvaldo V. Avancini) responsável pelo Projeto de Capacitação de Recursos Humanos das ETF's - Curso de Atualização Pedagógica para Coordenadores e Especialistas. SENAFOR, São Paulo, 1988.

Conforme observado no Quadro 1, cada escola possui uma abordagem pedagógica, contudo, certos conteúdos funcionam melhor com o sistema da escola tradicional, enquanto outros são trabalhados de forma mais criativa por outra escola. Dessa forma, o professor, após realizar uma formação em pedagogia, deve se apropriar das escolas conforme a situação e o conteúdo a ser abordado.

Vale destacar que essa dissertação não advoga a favor de nenhuma escola apresentada do quadro acima, pois acredita-se que o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo usando tecnologias digitais pode ser adotado tanto por professores que se afiliam à escola crítica quanto à escola tradicional. Uma vez que os docentes são livres para adotarem as tecnologias conforme suas próprias crenças no processo de ensino-aprendizagem.

No processo de ensino, deve haver um equilíbrio entre ensino-aprendizagem, ou seja, a forma como o docente formado em pedagogia realiza o planejamento do ensino deve levar em consideração tanto o conteúdo a ser ensinado quanto a capacidade de aprendizagem dos alunos. O professor é responsável pela qualidade do ensino e, a fim de obter um bom resultado, define objetivos e direciona ações pedagógicas a serem desenvolvidas ao longo do ano ou do semestre, que se refere ao planejamento do processo de ensino-aprendizagem (KLOSOWSKI; REALI, 2008).

Desse modo, fica nítida a importância do planejamento no âmbito educacional. Sobre isso, Klosowski e Reali (2008, p. 3) indicam autores - entre eles Padilha (2001), Lück (2002) e Gandin (2005) - que concordam que o planejamento é a “previsão de uma ação a ser desenvolvida e o pensar sobre os melhores meios para atingir os fins”. Similarmente, Parra (1972 apud TURRA et al., 1975) considera que o planejamento significa decidir sobre “o que pretendemos realizar, o que vamos fazer, como vamos fazer, e o que e como devemos analisar a situação, a fim de verificar se o que pretendemos foi atingido”. Portanto, o planejamento é um ato de decisão (LUCKESI, 2008) e essas decisões são registradas em documentos chamados planos que são divididos, segundo Gil (2015b), em **plano de disciplina**, **plano de unidade** e **plano de aula**. Os conceitos desses planos estão associados à escola tecnicista e tradicional. É importante frisar que os docentes deveriam ter uma prévia formação em pedagogia para elaborar esses diferentes planos, que serão vistos a seguir.

O **plano de disciplina**, segundo Mattos (1968 apud TURRA et al., 1975, p. 236), corresponde ao “pré-estabelecimento do trabalho a ser desenvolvido, enquanto durar o curso”. Já para Gil (2015b) esse plano refere-se às ações a serem desenvolvidas durante o ano ou semestre letivo e, de modo geral, possui informações sobre a identificação do plano, objetivos gerais, conteúdo programático, ementa, bibliografia,

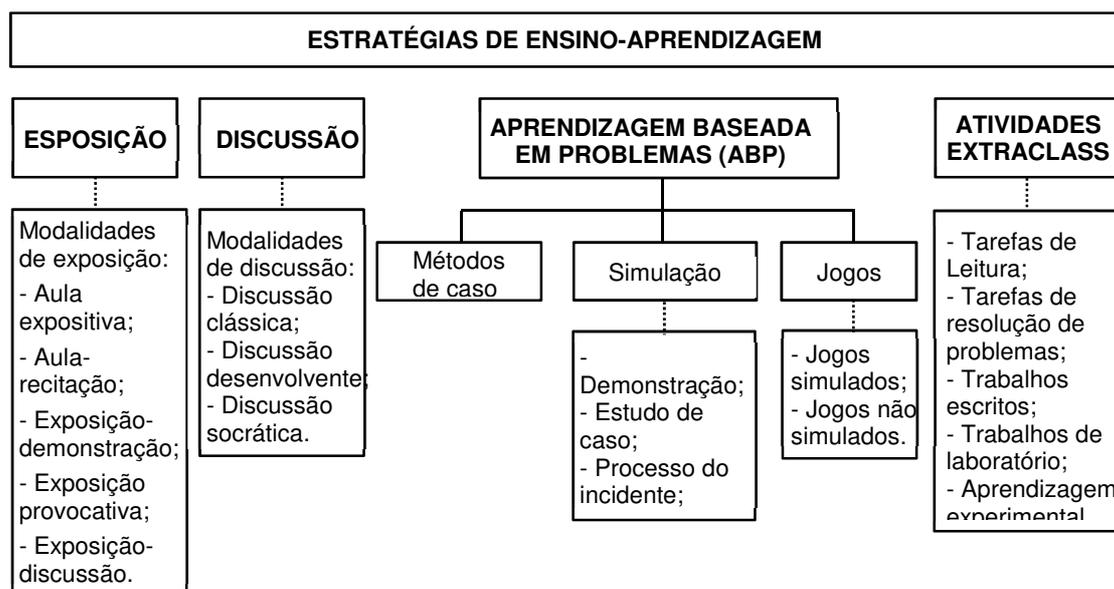
estratégias de ensino, recursos didáticos, avaliação e cronograma. Dessa maneira, a seguir são especificados alguns componentes do plano de disciplina.

- a) **Objetivos:** referem-se a uma “definição clara e precisa do que se espera que o aluno seja capaz de fazer após a conclusão de um curso, disciplina, unidade ou aula” (GIL, 2015b, p. 109). Em contrapartida, autores da escola crítica defendem que os objetivos sejam estabelecidos com os alunos a partir de suas “necessidades concretas do contexto histórico-cultural” (CENAFOR, 1988). Segundo Svinicki e McKeachie (2012), os objetivos podem ser classificados em três domínios: (a) cognitivo - se refere aos objetivos relacionados aos conhecimentos, informações e capacidade intelectual, normalmente é o que mais recebe destaque no ensino superior; (b) afetivo - está ligado a sentimentos, emoções ou atitudes; e (c) psicomotor - enfatiza o trabalho de natureza neuromuscular.

- b) **Conteúdo programático:** diz respeito aos assuntos que serão estudados na disciplina visando contribuir para os objetivos de aprendizagem traçados (GIL, 2015b). Turra et al. (1975, p. 242) destacam que os conteúdos novos devem relacionar-se e integrar-se com conhecimentos já aprendidos pelos alunos, assim, o docente selecionará informações “para o alcance dos objetivos, organizando-os em sequencias de aprendizagem”. Em vista disso, a seleção de conteúdos está diretamente relacionada a definição de objetivos (LEAL, 2005). Svinicki e McKeachie (2012) destacam que também é importante pensar nas atividades fora da sala de aula, momento em que a maioria do aprendizado acontece, por isso os trabalhos relacionados aos assuntos tratados em aula são importantes. Os conteúdos relacionados à arquitetura e urbanismo serão especificados na seção 2.2.2.

- c) **Estratégias de ensino:** segundo Leal (2005, p. 3), “é o caminho escolhido pelo professor para organizar as situações de ensino-aprendizagem”. Já Turra et al. (1975, p. 134) definem como “maneiras particulares de organizar as condições externas à aprendizagem, com a finalidade de provocar as modificações comportamentais desejáveis no aluno” e podem ser técnicas de ensino individualizado e em grupo. Entretanto, para selecionar a estratégia de ensino é necessário ter conhecimento dos diferentes tipos de estratégias. A Figura 3 reúne as estratégias de ensino-aprendizagem citadas por Gil (2015a, 2015b). Svinicki e McKeachie (2012, p. 19) acrescentam que “os professores mais bem-sucedidos provavelmente variam os métodos para se adequarem a seus objetivos”.

Figura 3 - Estratégias de ensino-aprendizagem recomendadas para o Ensino Superior



Fonte: Autor com base em GIL (2015a, 2015b)

Conforme pode ser observado na figura acima, a estratégia de exposição possui cinco modalidades e é o método mais antigo que se refere a “prelação verbal utilizada pelos professores com o objetivo de transmitir informações a seus alunos” (GIL, 2015a, p. 68).

A discussão, também chamada de debate, possui três modalidades e, segundo Svinicki; McKeachie (2012, p. 39), é uma das “ferramentas mais valiosas do repertório do professor” com relação ao método de aprendizagem ativa, que se refere a uma “experiência de aprendizagem na qual os alunos refletem sobre determinado assunto”. De acordo com os mesmos autores, o debate faz com que os alunos prestem atenção e pensem de forma ativa tendo maior probabilidade de memorização.

Já a aprendizagem baseada em problemas (ABP) pode ser aplicada com três estratégias: método de caso; simulação e jogos (GIL, 2015a, 2015b). Segundo Souza e Dourado (2015, p. 184-185), ABP refere-se a

uma estratégia de método para aprendizagem, centrada no aluno e por meio da investigação, tendo em vista à produção de conhecimento individual e grupal, de forma cooperativa, e que utiliza técnicas de análise crítica, para a compreensão e resolução de problemas de forma significativa e em interação contínua com o professor tutor.

As atividades extraclasse correspondem às “estratégias de ensino com o mesmo *status* das que ocorrem em sala” e possuem cinco modalidades, uma vez que a maior parte do aprendizado dos alunos

acontece fora da sala de aula e o professor deve fazer com que essas atividades se integrem (GIL, 2015b, 197-198).

Para escolher a estratégia de ensino mais apropriada para uma disciplina, Svinicki e Mckeachie (2012) assinalam que primeiro deve-se ter clareza dos objetivos do curso para, então, decidir as técnicas mais adequadas à filosofia de ensino e às habilidades do professor, à turma com que se está trabalhando e aos objetivos específicos que serão enfatizados em um determinado momento do curso.

Naturalmente, a forma de adoção das ferramentas digitais no processo de ensino vai definir uma determinada estratégia de ensino-aprendizagem. Entretanto, não é objetivo dessa pesquisa defender uma estratégia em detrimento de outra, mas apresentar as alternativas tecnológicas disponíveis aos docentes responsáveis pelas disciplinas do curso de arquitetura e urbanismo.

- d) **Recursos didáticos:** os recursos a serem utilizados pelo professor na aula vão desde o quadro de giz até o projetor (GIL, 2015b). Todavia, Leal (2005) cita que com o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação, a tecnologia passou a ser um recurso de ensino importante, além de serem uma fonte de pesquisa dentro e fora da sala de aula. Svinicki e Mckeachie (2012) destacam que se a tecnologia for utilizada de maneira adequada, pode promover oportunidades de interação entre os alunos e conteúdos. A seção 2.3 tratará mais sobre a ensino com tecnologia.
- e) **Avaliação:** tem a função de diagnosticar o avanço dos alunos durante o curso (LEAL, 2005), verificando se os objetivos foram atingidos (GIL, 2015b). De acordo com Svinicki e Mckeachie (2012, p. 78-87), “avaliação não é sinônimo de teste” e “devem ser experiências de aprendizagem”. Os mesmos autores acrescentam que “é possível avaliar o aprendizado do aluno com atividades a serem feitas dentro e fora da sala de aula”. Klosouski e Reali (2008) relatam que a avaliação deve ser feita durante todo o processo de ensino e, não apenas no final, sendo um *feedback* do planejamento do ensino. Ainda sobre esse aspecto, as autoras (2008, p. 6) destacam que através da avaliação

se percebem os progressos dos alunos, descobrem-se os aspectos positivos e negativos que surgem durante o processo e busca-se, através dela, uma constante melhoria na elaboração do planejamento, melhorando consequentemente a prática do professor e a aprendizagem do aluno.

O **plano de unidade**, de acordo com Turra et al. (1975, p. 248), trata-se de “uma previsão mais específica e analítica do trabalho a ser desenvolvido durante um determinado período-tempo”. E acrescenta que um bom plano de unidade leva em consideração o nível psicológico do aluno, sentido em si, sentido dentro da sequência, cooperação, integração e estrutura total. Gil (2015b) cita que o plano de unidade possui os mesmos componentes do plano de disciplina, porém o primeiro é mais minucioso, assim, os conteúdos, as estratégias de ensino, os recursos e os procedimentos de avaliação são mais detalhados.

O **plano de aula** versa sobre a sequência do que será desenvolvido em cada aula especificando o que será utilizado para a realização da aula (conteúdos, procedimento e recursos) e indicando o comportamento esperado dos alunos, “buscando sistematizar todas as atividades que se desenvolvem no período de tempo em que o professor e aluno interagem, numa dinâmica de ensino-aprendizagem (TURRA et al., 1975, p. 259). Gil (2015b, p. 106) adiciona que esse planejamento é mais restrito do que o plano de unidade e o professor define “os conteúdos, cuidando para que cada um de seus tópicos seja desenvolvido mediante a utilização das estratégias e dos recursos mais adequados, com rigorosa previsão do tempo e das atividades que ficarão a cargo dos alunos”.

Ressalta-se, portanto, a importância da didática nos cursos superiores e a necessidade de desenvolver habilidades pedagógicas nos professores universitários, buscando um equilíbrio entre ensino e aprendizagem. Também foi observada a relevância do planejamento no âmbito educacional, principalmente no planejamento do ensino, que é função do docente. Com relação a escolha das estratégias de ensino-aprendizagem, independentemente do tipo de curso, é possível adotar diferentes estratégias em uma única disciplina. E, na verdade, o fator que mais influencia a escolha do método é o tempo disponível do professor para fazer o planejamento e preparar as aulas.

Cabe realçar que a pesquisa não pretende montar um plano de aula, de unidade ou de disciplina para o professor, pois isso depende do perfil de cada docente e de sua abordagem pedagógica. O intuito foi de exibir aspectos relacionados à formação do professor universitário, contudo, a dissertação apresentará maneiras do docente incrementar suas aulas com tecnologia e, ainda, estimular aqueles alunos a terem interesse nessas tecnologias digitais.

2.2 Características do ensino de arquitetura e urbanismo: o papel do docente

Os problemas decorrentes da falta de formação pedagógica dos professores universitários também podem ser observados no ensino de arquitetura e urbanismo. Dutton (1991, p. xvi apud RHEINGANTZ, 2005) indica que os professores de arquitetura estão mais interessados em "desenvolver a teoria e a prática da arquitetura do que em desenvolver a teoria e a prática da educação". Essa afirmação pode ser associada com a visão de Gil (2015a,2015b) de que a ausência de formação pedagógica dos docentes leva à não valorização de práticas didáticas.

E esse cenário foi agravado a partir da década de 1980, segundo Salvatori (2008, p. 74), quando o “estabelecimento de planos de carreira universitária deu lugar à profissionalização acadêmica”, significando o início de um processo de substituição de professores com atuação prática profissional por outros com trajetória tipicamente intelectuais. Esse processo é chamado por Rheingantz (2005, p. 45) de transição do modelo de arquitetos-que-dão-aula para pesquisadores-que-dão-aula, cujas escolas de arquitetura estão passando e ambos formatos de profissionais demonstram “pouco interesse pela teoria e prática da educação”. Pensando da mesma forma, Castilho (2014a) reforça dizendo que esse episódio leva a distorções na formação profissional dos estudantes devido à separação da formação acadêmica da prática profissional. Da mesma forma, Carvalho e Savignon (2012, p. 9) comentam que o fato de muitos docentes apenas lecionarem, “deixando em segundo plano o desenvolvimento de projetos de arquitetura”, os leva a não se atualizar sobre as novas tendências do mercado de trabalho.

Essas citações reforçam a necessidade dos professores de arquitetura e urbanismo se familiarizarem com as diferentes escolas pedagógicas e as implicações de cada uma delas, especialmente quanto aos papéis dos atores envolvidos, conforme mostrado no quadro de GENAFOR na seção anterior.

Devido à perspectiva de Schön (2000, p. 25, grifo autor) de que “ao estudante, não se pode *ensinar* o que ele precisa saber, mas se pode instruir”, o autor considera o docente mais como um orientador/instrutor cuja atividade principal é de demonstrar, aconselhar, questionar e criticar. Em contrapartida, Rodriguez (2008, p. 33) apresenta-se favorável à ideia de que arquitetura pode ser ensinada, uma vez que o “docente deve mesclar a prática repetitiva (a reiteração continuada de uma mesma atividade de aprendizagem) com a reflexiva” por meio da transformação do conhecimento implícito

em explícito refletindo sobre o que aprendeu e gerando um metaconhecimento¹. A mesma autora passa a mensagem de que o ensino é uma via de mão dupla (docente e discente), contudo o professor deve guiar o processo de ensino-aprendizagem, e acrescenta que todos os docentes são responsáveis por promover a integração entre as disciplinas do semestre e do currículo, e não apenas o professor de projeto e sua disciplina².

A estruturação do curso de arquitetura e urbanismo, bem como sua contextualização e legislação serão vistas a seguir.

2.2.1 Contextualização do ensino e da legislação de arquitetura e urbanismo

Historicamente, considera-se o início do ensino de arquitetura no Brasil associado à chegada de Grandjean de Montigny, junto com a Missão Francesa, em 1816. Naquela época, teve início a Escola de Belas Artes e os primeiros cursos de arquitetura passaram a ser ministrados. Apenas a partir de 1890, foi iniciada a dissociação do ensino de arquitetura e de Belas Artes, porém, só em 1937, ocorreu definitivamente a separação desses cursos (FAU-UFRJ, 2017a, 2017b). Até esse período, mais precisamente 1933, segundo Salvatori (2008), existiam apenas quatro cursos de arquitetura - Escola Nacional de Belas Artes (ENBA), no Rio de Janeiro, Escola Politécnica da USP, Escola de Engenharia do Mackenzie de São Paulo e EAUFMG. Nesse mesmo ano, houve a primeira regulamentação da profissão do arquiteto, junto com o engenheiro e agrimensor, através do **Decreto Federal nº 23.569, de 11 de dezembro de 1933**, de acordo com Castilho (2014a, 2014b), Simon (2010) e Maragno (2012).

Segundo a ABEA³ (2014), somente em 1962 houve a primeira regulamentação do ensino de arquitetura e urbanismo, definindo seu currículo mínimo e designando uma formação generalista para este profissional com a **Portaria Ministerial nº 159, de 4 de dezembro de 1962**, conforme mostra a Figura 4. Salvatori (2008, p. 55) cita que os anos posteriores, ditadura militar (1964 a 1985), foram a época em que o “ensino experimentou, talvez, seu pior período” e, entre 1969 e 1972, o governo militar promoveu a Reforma Universitária levando “a universidade clássica, voltada para o conhecimento” ser substituída pela “universidade funcional, direcionada para o mercado de trabalho”, segundo Chauí (2001 apud RHEINGANTZ, 2005, p. 51).

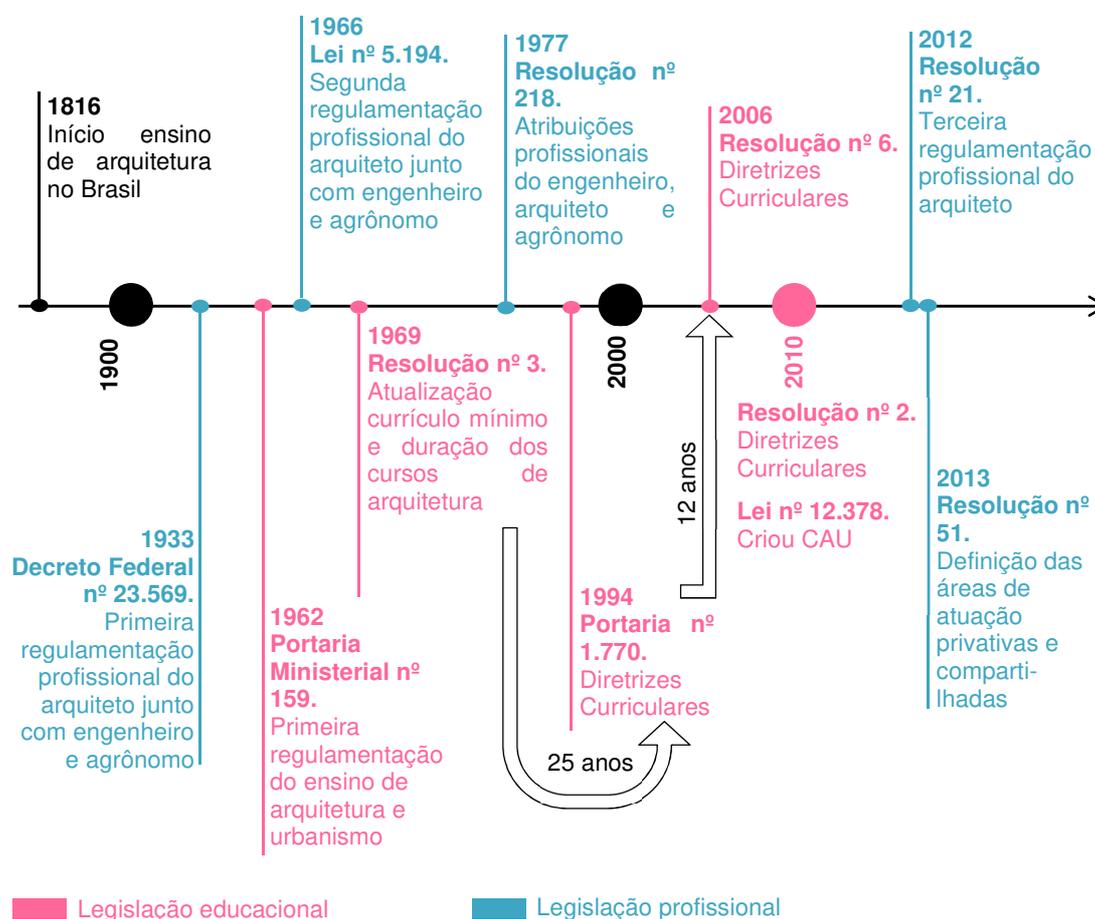
¹ Metaconhecimento refere-se ao papel da filosofia de realizar a compreensão das várias áreas do conhecimento e reorganizar esse conhecimento criando novos conceitos no sentido de renovar a compreensão da realidade (MONAT; CAMPOS; LIMA, 2008, p. 7).

² Esse pensamento ocorre pelo fato de projeto ser uma matéria multidisciplinar que integra conhecimentos das demais disciplinas do curso de arquitetura (RODRIGUEZ, 2008).

³ Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo

Entretanto, foi durante a ditadura que houve a segunda regulamentação profissional do arquiteto, junto com engenheiro e engenheiro agrônomo, por meio da **Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966**, cujas atribuições desses profissionais foram definidas na **Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973, do CONFEA** (Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) (CASTILHO, 2014a, 2014b; MARAGNO, 2012). Ainda na ditadura, em 1969, sucedeu uma atualização dos conteúdos mínimos e da duração dos cursos de arquitetura pela **Resolução nº 3, de 25 de junho de 1969**, que 25 anos mais tarde foi atualizada com as Diretrizes Curriculares da **Portaria nº 1.770, de 21 de dezembro de 1994**, que buscava aproximação aos padrões internacionais (ABEA, 2014; SALVATORI, 2008) e permitiu “a diversificação das grades entre as diversas instituições” além da “distinção das matérias em básicas e profissionais” (BARRETO; SALGADO, 2001, p. 5).

Figura 4 – Evolução da legislação profissional e educacional de arquitetura e urbanismo.



Fonte: Autor

A Portaria 1.770/94 marcou o retorno das instituições profissionais na discussão de questões relacionadas ao ensino de arquitetura e urbanismo e, de acordo com Salvatori (2008, p. 74-75), isso ficou mais evidente com as Diretrizes Curriculares de

2006 – **Resolução nº 6, de 2 de fevereiro de 2006** – que incluiu conteúdo relacionado ao “perfil profissional com base nas competências no mercado de trabalho” e que devem estar contempladas nos projetos pedagógicos dos cursos. Vale destacar que essa resolução tem origem em 1998 na proposta de alteração das diretrizes realizada pelo Grupo de Trabalho composto pelo CONEA, ABEA e FENEA, que foi baseado na Portaria 1.770 de 1994.

Em 2010, houve uma pequena alteração das Diretrizes Curriculares de 2006, modificação da alínea b do artigo 9º originando, assim, as Diretrizes Curriculares de 2010 - **Resolução nº 2, de 17 de junho de 2010** - vigente até hoje. No mesmo ano, foi promulgada a **Lei nº 12.378, de 31 de dezembro de 2010**, que criou o CAU (Conselho de Arquitetura e Urbanismo) e todas as definições que antes eram regidas por um conselho compartilhado com a engenharia e agronomia passaram a ser tratadas em um conselho próprio. Essa lei determinou a terceira regulamentação profissional do arquiteto que está detalhada na **Resolução nº 21, de 5 de abril de 2012** (ABEA, 2014; CASTILHO, 2014a, 2014b; MARAGNO, 2012).

Castilho (2014a) considera que as competências profissionais, estabelecidas pela Lei nº 12.378/2010, são amplas e multifárias. Por outro lado, o mesmo autor (p. 24, grifo do autor) afirma que essa lei “tem gerado propostas positivas de modificação da própria formação academia dos profissionais” e completa dizendo que “as competências legais devem se ajustar aos conteúdos das grades curriculares para que haja alguma correspondência entre formação acadêmica, feita pela Universidades, e titulação profissional, monopólio do CAU”.

O CAU, em 2013, atendeu a exigência da Lei 12.378/2010 sobre a especificação das áreas de atuação privativas do arquiteto e das áreas de atuação compartilhadas com outros profissionais regulamentados através da **Resolução nº 51, de 12 de julho de 2013** (CAU/BR, 2013). Contudo, Castilho (2014a) destaca que as resoluções não possuem força de lei geral por ser um ato administrativo normativo, portanto, podem ser questionados principalmente em relação às atividades não privativas.

No mesmo ano, a ABEA (2014) realizou um Seminário Nacional e Congresso da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo (CONABEA) a fim de elaborar uma proposta de alteração das Diretrizes Curriculares de 2010. No segundo evento, o CAU foi convidado a participar e debater a proposta das Diretrizes Curriculares e, após discussões, foi aprovada uma proposta de modificação encaminhada ao CAU/BR e ao Conselho Nacional de Educação. Vale destacar que as Diretrizes em vigor foram promulgadas quando a Arquitetura e Urbanismo ainda fazia parte do CONFEA, cujos enfoques sugeridos para o setor eram diferentes do que o CAU almeja. Considerando isso e levando em consideração essa proposta de modificação e a nova

regulamentação das atribuições do arquiteto pela Lei nº 12.378/2010, pode-se dizer que as atuais DCN estão obsoletas em relação aos últimos acontecimentos.

A partir da contextualização histórica, essa pesquisa apresenta a legislação educacional em vigor incidente sobre os cursos de Arquitetura e Urbanismo por meio das Diretrizes Curriculares de 2010. Esse levantamento tem o propósito de apontar os conteúdos obrigatórios que devem ser ensinados ao longo do curso de arquitetura e urbanismo, que adiante será usado como base para apresentar possibilidades de integração das TICs nos diversos campos do conhecimento de arquitetura e urbanismo (capítulo 4 e 5).

2.2.2 Legislação educacional dos cursos de Arquitetura e Urbanismo

Visando estabelecer um equilíbrio entre prática e teoria, as Diretrizes Curriculares de 2010 (MEC, 2010, grifo nosso), no art. 6º, esclarecem que os conteúdos dos cursos devem estar distribuídos em dois Núcleos de Conhecimentos, sendo um teórico e outro profissional, além do Trabalho de Curso:

§ 1º O **Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação** será composto por campos de saber que forneçam o **embasamento teórico** necessário para que o futuro profissional possa desenvolver seu aprendizado e será integrado por: Estética e História das Artes; Estudos Sociais e Econômicos; Estudos Ambientais; Desenho e Meios de Representação e Expressão.

§ 2º O **Núcleo de Conhecimentos Profissionais** será composto por campos de saber destinados à **caracterização da identidade profissional** do egresso e será constituído por: Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo; Projeto de Arquitetura, de Urbanismo e de Paisagismo; Planejamento Urbano e Regional; Tecnologia da Construção; Sistemas Estruturais; Conforto Ambiental; Técnicas Retrospectivas; Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo; Topografia.

§ 3º O **Trabalho de Curso** será supervisionado por um docente, de modo que envolva todos os procedimentos de uma investigação técnico-científica, a serem desenvolvidos pelo acadêmico ao longo da realização do último ano do curso.

Nas competências e habilidades das DCN de 2010 (art. 5º), são apontados treze aspectos que devem ser desenvolvidos no futuro profissional. Esses aspectos, segundo análise da Portaria nº 1.770/1994, se referem às características das áreas de estudo dos conteúdos curriculares (art. 6º). Com isso, foi feito o Quadro 2 que traz a correspondência entre conteúdos curriculares e as competências e habilidades a serem incorporadas nos cursos de graduação de Arquitetura e Urbanismo.

As Diretrizes Curriculares definem que a Resolução nº 2, de 18 de junho de 2007, estabelece a carga horária mínima para o curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo, que deve ser de 3.600 horas com limite mínimo de cinco anos para integralização (MEC, 2007). Essa carga horária deve abranger, entre outras atividades, as atividades complementares e estágio curricular supervisionado. Os conteúdos e habilidades específicas que contribuam para o futuro profissional são desejáveis,

contudo, segundo Maragno (2012, s.p.), esses conteúdos não são ofertados devido a carga horária ocupada pelas habilidades essenciais estabelecidas pelo MEC. Dessa forma, o mesmo autor afirma que “a carga horária média dos cursos brasileiros é de 4.012 horas (4.268h nas instituições públicas e 3.968h nas instituições privadas)”.

Quadro 2 – Campos do saber que devem constar nos currículos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo

Conteúdos curriculares (Art. 6º das DCN)		Competências e Habilidades (Art. 5º das DCN)
Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação	Estética e História das Artes	“IV - o conhecimento da história das artes e da estética, suscetível de influenciar a qualidade da concepção e da prática de arquitetura, urbanismo e paisagismo”
	Estudos Sociais e Econômicos	“I - o conhecimento dos aspectos antropológicos, sociológicos e econômicos relevantes e de todo o espectro de necessidades, aspirações e expectativas individuais e coletivas quanto ao ambiente construído”
	Estudos Ambientais	“II - a compreensão das questões que informam as ações de preservação da paisagem e de avaliação dos impactos no meio ambiente, com vistas ao equilíbrio ecológico e ao desenvolvimento sustentável!”
	Desenho e Meios de Representação e Expressão	“as habilidades de desenho e o domínio da geometria, de suas aplicações e de outros meios de expressão e representação, tais como perspectiva, modelagem, maquetes, modelos e imagens virtuais”
Núcleo de Conhecimentos Profissionais	Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo	“V - os conhecimentos de teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo, considerando sua produção no contexto social, cultural, político e econômico e tendo como objetivo a reflexão crítica e a pesquisa”
	Projeto de Arquitetura, de Urbanismo e de Paisagismo	“III - as habilidades necessárias para conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo e para realizar construções, considerando os fatores de custo, de durabilidade, de manutenção e de especificações, bem como os regulamentos legais, de modo a satisfazer as exigências culturais, econômicas, estéticas, técnicas, ambientais e de acessibilidade dos usuários”
	Planejamento Urbano e Regional	“VI - o domínio de técnicas e metodologias de pesquisa em planejamento urbano e regional, urbanismo e desenho urbano, bem como a compreensão dos sistemas de infraestrutura e de trânsito, necessários para a concepção de estudos, análises e planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional”
	Tecnologia da Construção	“VII - os conhecimentos especializados para o emprego adequado e econômico dos materiais de construção e das técnicas e sistemas construtivos, para a definição de instalações e equipamentos prediais, para a organização de obras e canteiros e para a implantação de infraestrutura urbana”
	Sistemas Estruturais	“VIII - a compreensão dos sistemas estruturais e o domínio da concepção e do projeto estrutural, tendo por fundamento os estudos de resistência dos materiais, estabilidade das construções e fundações”
	Conforto Ambiental	“IX - o entendimento das condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas e o domínio das técnicas apropriadas a elas associadas”
	Técnicas Retrospectivas	“X - as práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades”
	Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo	“o conhecimento dos instrumentais de informática para tratamento de informações e representação aplicada à arquitetura, ao urbanismo, ao paisagismo e ao planejamento urbano e regional”
	Topografia	“a habilidade na elaboração e instrumental na leitura e interpretação de levantamentos topográficos, com a utilização de aerofotogrametria, fotointerpretação e sensoriamento remoto, necessários na realização de projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo e no planejamento urbano e regional”
Trabalho de Curso	Nada consta	

Fonte: Adaptado de MEC (2010) e Brasil (2010)

Desse modo, entende-se que através das disciplinas obrigatórias, as DCN tentam promover um equilíbrio entre atividades teóricas, propostas no Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação, e atividades práticas e profissionais, ofertadas no Núcleo de Conhecimentos Profissionais.

Tomando como base as competências e habilidades das Diretrizes Curriculares, essa pesquisa agrupou as áreas do saber das DCN por temas similares em cinco categorias. Essas categorias são “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”, conforme mostra o Quadro 3. Uma diretriz utilizada na dissertação foi repetir o campo do saber ‘Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo’ em todas as categorias, uma vez que a pesquisa busca integrar tecnologias no ensino de arquitetura e urbanismo. Ao longo da dissertação, as áreas do saber serão citadas por meio dessas cinco categorias a fim de tratar todos os assuntos relacionados ao currículo obrigatório do curso de arquitetura e urbanismo.

Quadro 3 – Agrupamento das áreas do saber das DCN

Áreas do saber segundo o MEC	Categorias	Conteúdos a serem ensinados, segundo MEC (2010)
Tecnologia da Construção	“Construção”	materiais de construção; técnicas e sistemas construtivos; instalações e equipamentos prediais; organização de obras e canteiros; implantação de infraestrutura urbana; sistemas estruturais; domínio da concepção e do projeto estrutural; resistência dos materiais, estabilidade das construções; fundações.
Sistemas Estruturais		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Estudos Ambientais	“Conforto ambiental”	preservação da paisagem; avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável; condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas.
Conforto Ambiental		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Técnicas Retrospectivas	“História”	teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.
Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Desenho e Meios de Representação e Expressão	“Geometria”	habilidades de desenho; domínio da geometria; perspectiva; modelagem; maquetes; modelos; imagens virtuais.
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Estética e História das Artes	“Projeto”	história das artes e da estética; aspectos antropológicos, sociológicos e econômicos; conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo; habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; planejamento urbano e regional; urbanismo e desenho urbano; sistemas de infraestrutura e de trânsito; planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; levantamentos topográficos.
Estudos Sociais e Econômicos		
Projeto de Arquitetura, de Urbanismo e de Paisagismo		
Planejamento Urbano e Regional		
Topografia		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		

Fonte: Autor

Isto posto, a seção a seguir discursa sobre a integração entre tecnologia e o processo educacional apontando, também, aspectos ligados à motivação do aluno e do professor.

2.3 Tecnologias digitais e o ensino de arquitetura e urbanismo

Antes de expor sobre tecnologia no ensino é importante destacar que os termos tecnologia e Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) são semelhantes e estão interligados, porém possuem conceitos diferentes. Tecnologia refere-se à “um produto da ciência e da engenharia que envolve um conjunto de instrumentos, métodos e técnicas que visam a resolução de problemas. É uma aplicação prática do conhecimento científico em diversas áreas de pesquisa” (GUIMARÃES; CABRAL, s/d, s.p.). Já Tecnologia da Informação e Comunicação diz respeito a junção das tecnologias de informática e das telecomunicações tendo a internet como sua maior manifestação (MIRANDA, 2007). Já para Willian e Sawyer (2007 apud BRIGITTE; RUSCHEL, 2016, p. 11) TIC trata-se de “um termo geral que se refere a toda tecnologia utilizada para processar, armazenar e distribuir informação”.

O uso e disseminação da tecnologia é um processo irreversível que traz muitas mudanças nas atividades cotidianas do ser humano e, também, para o ensino. Sobre isso, o movimento Todos Pela Educação (TPE) – criado em 2006, com o objetivo de assegurar Educação Básica de qualidade às crianças e jovens até o ano de 2022 - em conjunto com o Instituto Inspirare – instituto familiar com a finalidade de inspirar inovações que melhorem a qualidade da educação brasileira fundado em 2011 - desenvolveram um documento discutindo inovações tecnológicas na educação onde comentam:

Processos de ensino e aprendizagem tradicionais não respondem mais às demandas do mundo contemporâneo, muito menos ao perfil do aluno do século XXI. [...] O mundo mudou. As tecnologias digitais transformaram as relações, os sistemas de produção e as formas de geração e circulação do conhecimento. [...] Apesar de toda essa transformação, a escola pouco mudou. [...] Os professores continuam sendo formados para exercer a função de transmitir conteúdos. Até mesmo as tecnologias, quando incorporadas, apenas substituem antigas ferramentas, agregando pouco valor ao processo pedagógico (TPE; INSTITUTO INSPIRARE, 2014, p. 3)

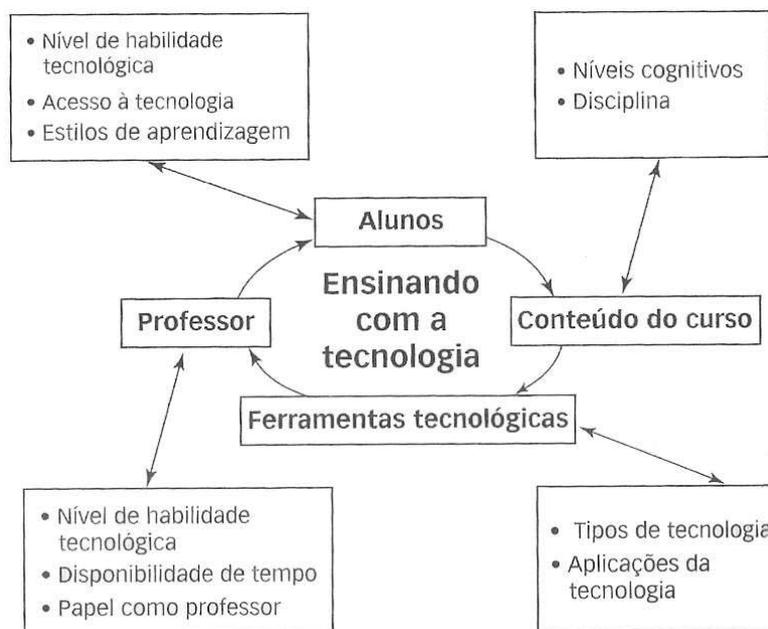
Conforme dito acima, os processos de ensino-aprendizagem precisam se adaptar às novas realidades do século XXI e, para isso, quanto mais o planejamento técnico e pedagógico tiver integrado, mais fácil será a contribuição para a aprendizagem dos alunos (TPE; INSTITUTO INSPIRARE, 2014). Contudo, para esse fim, Morin (2003, p. 99) levanta uma questão importante a ser considerada: “não se pode reformar a instituição sem uma prévia reforma das mentes, mas não se podem reformar as mentes

sem uma prévia reforma das instituições”. Essa questão indica que qualquer mudança do ensino, que é o caso proposto nesta pesquisa, passa pela necessidade de reformar a cabeça dos docentes, pois a tecnologia apenas será apropriada pelos professores se eles se interessarem e se disporem a aprender e aplicar a tecnologia.

Com relação aos processos de ensino-aprendizagem com uso de tecnologia, Gil (2015b, p. 220) aborda que “os recursos tecnológicos são hoje em tão grande número e têm passado por um processo de aperfeiçoamento tal que já se fala em tecnologia de ensino tanto no sentido *ware*, referente ao uso de equipamentos, quando no sentido *soft*, referente à utilização das teorias de aprendizagem”.

Contudo, segundo Svinicki e Mckeachie (2012) e Gil (2015b), na escolha de recursos tecnológicos, o professor deve levar em consideração quatro componentes: o próprio professor, os estudantes, os conteúdos do curso e as ferramentas tecnológicas, conforme mostra a Figura 5. E para haver “uma integração tecnológica o mais bem-sucedida” é necessário satisfazer cada um dos quatro elementos apresentados (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012, p. 251) e também é importante que os docentes conheçam sobre pedagogia e educação.

Figura 5 – Ensinando com tecnologia



Fonte: Svinicki e Mckeachie (2012)

Em relação ao professor, deve-se levar em consideração os seguintes aspectos: (a) experiência e habilidade com uso da tecnologia; (b) tempo “disponível para planejamento do curso e “seleção das estratégias de ensino adequada para sua escolha tecnológica”; (c) “como o professor vê seu papel no processo de ensino”; e (d) “como a integração tecnológica pode apoiar essa visão ou conflitar com ela” (SVINICKI;

MCKEACHIE, 2012, p. 255). Adicionalmente, resgatando os aspectos apontados no quadro CENAFOR da seção 2.1, é importante o docente ter conhecimento de pedagogia, conhecer as diferentes escolas pedagógicas e refletir *para que e a quem* ele servirá para, assim, encontrar um equilíbrio de *quando* usar tal tecnologia em sua disciplina.

No tocante aos alunos é recomendado avaliar a experiência prévia, pouco reconhecida pelos professores, e seu acesso à tecnologia, além da preferência e variedade de estilos de aprendizagem (citados na seção 2.1) que os estudantes trazem para a aula (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012).

Quanto ao conteúdo do curso, devem ser utilizados os recursos tecnológicos que contribuam para atingir os objetivos da disciplina. Assim, é preciso ter clareza dos conteúdos definidos, das estratégias de ensino, dos “conhecimentos, habilidades e atitudes esperados dos estudantes ao final do curso” e definir os domínios que desejam desenvolver no aluno: domínio cognitivo, domínio afetivo e domínio psicomotor (GIL, 2015b, p. 224). Os conteúdos obrigatórios do curso de arquitetura e urbanismo foram apresentados na seção 2.2.2 e, conforme dito anteriormente, o professor deve considerar não apenas o conteúdo a ser ensinado, mas também os objetivos que deseja alcançar com esse ensino e os outros pontos levantados acima. Da mesma forma, ocorre quando pretende-se utilizar recursos tecnológicos, isto é, devem ser selecionados aquelas tecnologias que contribuam para atingir os objetivos e comportamentos traçados.

Sobre as ferramentas tecnológicas, é importante analisar as tecnologias “de acordo com suas funções e sua relevância para o ensino” (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012, p. 252). De acordo com Gil (2015b, p. 227), existem ferramentas tecnológicas desenvolvidas para alcançar objetivos específicos em determinadas áreas de conhecimento e outras ferramentas criadas com objetivos mais gerais e muitas vezes sem propósito educacional. O mesmo autor (p. 227) reforça que se torna necessário o conhecimento de diversas ferramentas, dos efeitos em relação à aprendizagem, “de sua aplicabilidade no contexto de determinada disciplina, se suas limitações”, dessa forma, os conhecimentos de tecnologia educacional são requeridos para melhorar a qualidade das aulas.

Santos (2014a) cita outras tendências tecnológicas na educação dentre as quais vale destacar: (a) *Blended learning (B-learning)* se trata do uso de recursos tecnológico dentro da sala de aula para que a aprendizagem seja eficaz; (b) *flipped classroom* (sala de aula invertida) se refere a um método que o alunos aprendem os conteúdos em salas virtuais, a distância, enquanto nas aulas presenciais são utilizadas para trabalhar os assuntos mais problemáticos, realizar exercícios, provas e discussões sobre os assuntos estudados, esse método tem sido adotado nas universidades americanas MIT

e Harvard; (c) *E-learning* significa aprender por meio de dispositivos eletrônicos conectados ou não à internet; (d) *gamification* incorpora elementos de jogos, como níveis e emblemas, em atividades educacionais onde o conteúdo e o currículo estão disponibilizados.

TPE e Instituto Inspirare (2014) citam que ainda existe um deslocamento entre as atividades desenvolvidas pelo aluno dentro e fora (intenso uso de tecnologia) da escola, de modo que a vivência escolar gera desinteresse e, conseqüentemente, altos índices de evasão. A respeito disso, Sancho (1998, p. 93) sugere que a integração das tecnologias no currículo perpassa por experiências extraclasse do aluno, ou seja, que as habilidades e aptidões desses alunos com recursos tecnológicos sejam aproveitadas em atividades didáticas visando adquirir “funções cognitivas coerentes com as pretensões educacionais da escola”. Isso é uma das propostas de Freire (1996, s.p.) quando ele cita: “Por que não estabelecer uma necessária ‘intimidade’ entre os saberes curriculares fundamentais aos alunos e a experiência social que eles têm como indivíduo?”

Um método citado por Braz (2016, p. 23) que demonstra a redução de reprovação e do nível de evasão é o ensino híbrido, ele parte do pressuposto que “existem várias formas de aprender, sendo que a aprendizagem ocorre sempre e em diferentes espaços”. Já TPE e Instituto Inspirare (2014) explica que ensino híbrido corresponde à uma mesclagem entre atividades com e sem uso da tecnologia. Sunaga e Carvalho (2015 apud BRAZ, 2016) destacam que as TICs não substituem as salas de aula tradicionais, apenas garantem que novos recursos sejam utilizados para integrar o aprendizado online com o presencial.

Tibúrcio, Braz e Natalino (2016) e Braz (2016) indicam que o ensino híbrido também se enquadra no ensino de arquitetura e urbanismo por utilizar tecnologias novas e tradicionais. Rheingantz (2016) afirma que tanto na arquitetura como no processo de projeto há um equilíbrio entre o processo analógico (croqui, maquete, desenho manual) e digital (desenho digital, maquete eletrônica), que se complementam. Pensando da mesma forma, Andrade (2012, p. 371) comenta que o processo de projeto performativo “apresenta estágios automatizados e/ou semi-automatizados, intercalados por estágios analógicos”, ou seja, existe um fluxo de informação analógico e digital bem como uma transição contínua entre essas informações. Com o mesmo olhar, Carvalho e Savignon (2012, p. 10) expõem

o fato de os alunos saberem operacionalizar os programas mais atuais não garante que dominem também as representações gráficas do desenho de arquitetura. Ora, se esta garantia não existe, não há como dispensar o aluno das disciplinas de desenho arquitetônico simplesmente pelo fato de já dominar a ferramenta de desenho digital, assim como não há, por enquanto, como

extinguir de vez as pranchetas e fazer com que o aluno tenha contato com os desenhos de arquitetura diretamente no computador.

A origem das discussões com relação à informática, arquitetura e ensino ocorreram ao longo da década de 1990, culminando em 1994 na regulamentação da Portaria nº 1.770, que implementou disciplinas de 'Informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo' no currículo obrigatório deste curso (FARIAS SEGUNDO, 2010). Tiani (2007 apud FARIAS SEGUNDO, 2010) comenta que essa portaria foi um marco no ensino de projeto, entretanto, muitas escolas implantaram soluções apressadas sem a devida reflexão. Rego (2008 apud FARIAS SEGUNDO, 2010) explica que não houve uma conexão entre as disciplinas de informática e de projeto, e complementa que, no ateliê, a presença do computador parte dos alunos e não como estratégias pedagógicas no processo de ensino-aprendizagem de projeto. Para essa questão, Rocha (1999 apud FARIAS SEGUNDO, 2010, p. 29) discute que é importante mesclar conceitos de teoria e história de projeto com a habilidade de manipular o computador, para que o aluno não se torne “mero repetidor de paradigmas, tipos, tipologias ou geometrias vazias de conteúdo”.

Seguindo esse raciocínio, Carvalho e Savignon (2012) complementam que o arquiteto contemporâneo, além da formação multidisciplinar, deve ter conhecimentos em tecnologia digital, o que gera a necessidade de revisão do processo de formação dos profissionais, uma vez que se torna necessário capacitar esses profissionais para enfrentar os desafios da arquitetura digital. Todavia, os autores expressam que as universidades não estão acompanhando a velocidade das mudanças, tanto na atualização do currículo como na formação dos professores.

Uma das questões que deve ser revista para possibilitar a implementação de TICs no ensino diz respeito à formação e atualização dos docentes. Para TPE e Instituto Inspirare (2014), esse aspecto é fundamental para garantir o uso criativo e eficaz de tecnologia e, adicionam, que os professores precisam sair da zona de conforto, e vivenciar essas tecnologias aplicando-as no seu dia a dia para, posteriormente, utilizar na educação. Os mesmos autores (2014, p. 10) acrescentam que

A adoção de tecnologias na educação funciona melhor quando profissionais da área tecnológica se envolvem no planejamento pedagógico, em parceria com o corpo docente e a coordenação pedagógica. [...]. Quanto mais o planejamento técnico estiver integrado ao pedagógico, mais fácil será conjugar as possibilidades de infraestrutura com as práticas educativas e maior será o potencial de contribuição para a aprendizagem dos alunos.

Carvalho e Savignon (2012, p. 9) comentam que o fato de muitos docentes atuarem apenas como educadores, acabam não se atualizando sobre as novas tendências do mercado de trabalho, e complementam dizendo que

o aluno pode criar situações contraditórias sobre conceitos de arquitetura, principalmente quando o próprio professor faz uso de postura repulsiva com relação à adoção de novas formas de projeto assistido por computador. O que devemos fazer diante tal situação? Compreender o lugar que a computação gráfica tem hoje e saber manusear os programas mais utilizados talvez seja o início do caminho para que o professor se atualize e consiga adotar práticas pedagógicas que se utilizam destas ferramentas como partes integrantes do processo de projeto.

Além da atualização dos docentes, outra questão a ser tratada é a adequação dos espaços físicos para atenderem às necessidades tecnológicas. TPE e Instituto Inspirare (2014, p. 9) sugerem equipamentos para materialização da forma (cortadoras a *laser*, impressoras 3D e prototipagem rápida), além de ateliês com mesas digitalizadoras, recursos audiovisuais integrados e com acesso à internet, entre outros, que “dariam subsídios à projeção em tempos de arquitetura digital”.

Os autores Cabral Filho e Santos (1998 apud DITZ, 2004, p. 73)

propõem o uso do computador como ferramenta teórica e de projeto, não sendo descartada a hipótese de um ensino focado e dirigido para uma disciplina específica como Conforto Ambiental, Perspectiva Arquitetônica, História da Arquitetura, etc., mas enfatizam que deve haver uma reflexão para não se incorrer no mesmo erro do ensino tradicional do CAD, que, em muitos cursos, tendem a privilegiar o ensino restrito do *software* em detrimento de uma abordagem mais livre, especulativa e interativa.

O trecho acima expressa a crença dessa pesquisa de que ferramentas tecnológicas podem ser utilizadas no ensino teórico de diferentes conteúdos do curso de arquitetura e urbanismo e não apenas no ensino do próprio *software*. Com isso, os docentes podem usufruir das potencialidades trazidas pelas tecnologias e aplicá-las de diversas formas no ensino, seja o professor fazendo demonstrações em sala ou os alunos interagindo com a tecnologia. Exemplos dessas possibilidades serão apresentadas nos capítulos 4 e 5.

Por fim, vale ressaltar que existe uma tendência do arquiteto que não domina as ferramentas digitais terem dificuldades de encontrar lugar no mercado de trabalho e que, apesar das formas de trabalho se adaptarem às TICs (CARVALHO; SAVIGNON, 2012), a criatividade e o processo de concepção projetual é inerente ao arquiteto e a tecnologia surge como meio para realizar o projeto, facilitando e otimizando o processo.

2.3.1 Motivação e curiosidade no ensino

A motivação e a curiosidade são aspectos importantes a serem considerados no ensino tanto para o aluno quanto para o professor. Segundo Piletti (2004, p. 233-33), a motivação “consiste em apresentar a alguém estímulos e incentivos que lhe favoreçam determinado tipo de conduta” e para ocorrer a aprendizagem é importante motivar o aluno criando situações favoráveis a aprendizagem por meio de recursos, métodos e procedimentos. E acrescenta que para criar essa situação o professor deve: “conhecer

os interesses atuais dos alunos para mantê-los ou orientá-los e buscar uma motivação suficientemente vital, forte e duradoura para conseguir do aluno uma atividade interessante e alcançar o objetivo da aprendizagem”. Entretanto, o mesmo autor lembra a importância de o professor estar motivado ao ensinar, caso contrário, o aluno sente-se desanimado.

Cunha (1979 apud PILETTI, 2004 p. 242) comenta que teóricos educacionais declaram que a motivação é um fator importante para que a aprendizagem ocorra e reconhecem que uma “pessoa predisposta a aprender o faz com muito maior facilidade e significado”.

Svinicki e McKeachie (2012) mencionam que a motivação dos alunos e professores estão interligadas, uma vez que ter alunos motivados afeta a motivação do professor e, conseqüentemente, torna o ensino uma experiência mais prazerosa para o docente. Outro ponto levantado pelos autores (p. 157, grifo nosso) foi que a motivação intrínseca⁴ dos alunos pode ser promovida ao “tornar palestras e debates mais interessantes, **variar o formato instrucional**, [...] e **acrescentar elementos interativos** sempre que isso for adequado”, e adiciona que os “alunos se sentem mais motivados à ir a aula quando a experiência de aprendizagem coletiva ultrapassa claramente aquilo que pode ser copiado das anotações dos colegas”.

Dito isso, a tecnologia pode motivar o professor e o aluno. Segundo Braga et al. (2012), o fascínio que as tecnologias causam nas pessoas, especialmente nos estudantes, age como um catalisador do interesse pelos estudos. Portanto, pode-se afirmar que levar a tecnologia para a sala de aula pode ser uma maneira de estimular a aprendizagem e facilitar a fixação dos conteúdos.

A curiosidade refere-se àquilo que “faz perguntar, conhecer, atuar” (FREIRE, 1996, s.p.). Com isso, de acordo com o mesmo autor, ensinar requer curiosidade e se não há curiosidade, não aprendo nem ensino. Sobre a tecnologia, o mesmo autor relata o potencial de estímulos e desafios que a tecnologia causa nas crianças e adolescentes, assim como a curiosidade proporcionada pelos computadores.

Por fim, vale destacar que a adoção das Tecnologias de Informação e Comunicação em sala de aula pode exercer efeitos no processo de ensino e aprendizagem tanto em relação ao conteúdo tratado na disciplina, quanto em relação à ferramenta adotada pelo docente no ensino. Advoga-se, portanto, a favor da disseminação das ferramentas digitais no dia-a-dia do curso de arquitetura, e não apenas em uma disciplina específica de “Informática aplicada” – sem desmerecer a importância desta. Essa seção procurou relacionar os conteúdos discutidos neste

⁴ Segundo Svinicki e McKeachie (2012, p. 151), pessoas intrínsecas engajam-se em uma “atividade pelo valor da atividade em si, e não por causa de uma recompensa externa”.

capítulo 2, com o próximo capítulo, que tratará de Tecnologias de Informação e Comunicação.

2.4 Considerações sobre o capítulo

Esse capítulo versou sobre a questão do ensino e fez uma exposição geral de particularidades relacionadas a formação do docente. Tratou-se da indispensabilidade de sensibilizar os professores universitários a desenvolverem habilidades pedagógicas. Também foi abordada a necessidade de conhecimento das diferentes escolas pedagógicas e suas implicações, bem como a relevância do planejamento no âmbito educacional. Uma sugestão para superar esses entraves seria promover ações institucionais focadas na formação do docente.

Em seguida, após estudar a legislação educacional dos cursos de arquitetura e urbanismo, baseou-se nas Diretrizes Curriculares de 2010 para agrupar as áreas do saber em categorias. Essas categorias e seus respectivos conteúdos deram suporte ao desenvolvimento dos capítulos 4 e 5.

Por fim, verificou-se aspectos relacionados à aplicação de tecnologia no ensino e a importância da motivação e da curiosidade. Acredita-se que ferramentas tecnológicas podem ser utilizadas no ensino teórico de diferentes conteúdos do curso de arquitetura e urbanismo e não apenas no ensino do próprio *software*. Com isso, os docentes podem usufruir das potencialidades trazidas pelas tecnologias e aplicá-las de diversas formas no ensino motivando os alunos, que ficam interessados em explorar novas ferramentas.

O capítulo a seguir explora as tecnologias utilizadas na área de arquitetura e urbanismo para posteriormente ser realizada uma análise de como os recursos tecnológicos podem ser utilizados no ensino de diferentes conteúdos da área, nos capítulos 4 e 5.

TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICs) EM ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo começa introduzindo a arquitetura dentro do contexto histórico das revoluções industriais, objetivando compreender como a arquitetura e a construção civil se comportaram frente às novas necessidades da sociedade, que foram surgindo com as evoluções tecnológicas. Em seguida, são apresentadas as Tecnologias de Informação e Comunicação que impactaram o campo da arquitetura e urbanismo no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais.

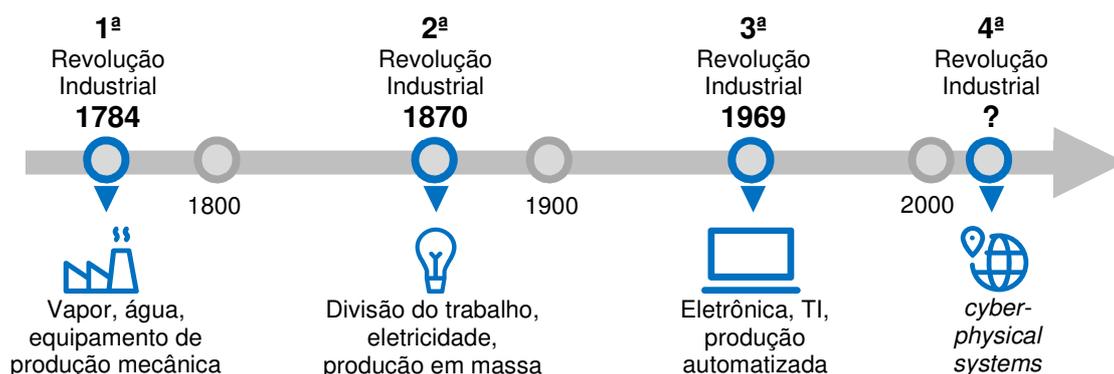
3.1 Breve histórico das revoluções industriais

A intensificação das tecnologias digitais traz consequências diversas no nível do cotidiano das pessoas, em todas as esferas, de maneira diferenciada, mas socialmente ampla. Na prática cotidiana da disseminação de informações, isso é perceptível de múltiplas formas, a ponto de se tornar difícil a tarefa de se desenvolver qualquer atividade que não esteja total ou parcialmente inserida nos novos aparatos tecnológicos de informação (COUTINHO; SILVEIRA Jr., 2007, p. 74).

A citação acima traduz o momento tecnológico vivido em 2017. Os maiores avanços tecnológicos começaram a ocorrer na 1ª Revolução Industrial e evoluíram até o atual mundo em rede e tecnológico da 4ª Revolução Industrial. As revoluções modificaram a forma de produção dos bens e causaram impactos na arquitetura, no urbanismo (CELANI; FRAJNDLICH, 2016), bem como na construção civil e na sociedade.

Com as revoluções industriais, as tecnologias entram nas moradias e alteram significativamente a construção civil. Dessa forma, o arquiteto precisa saber como incorporar em seu projeto as tecnologias para que as pessoas possam se valer daquela novidade, bem como necessita compreender as tecnologias construtivas utilizadas nos canteiros de obra. Assim, essa seção traz uma breve abordagem das transformações geradas na sociedade por cada revolução industrial e, também, trata o impacto que elas causaram na vida do ser humano, na construção civil e na vida do arquiteto. A Figura 6 apresenta um resumo das principais características das 4 revoluções.

Figura 6 – Resumo das Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de Nicol (2015)

1ª Revolução Industrial

A 1ª Revolução Industrial ou *Industry 1.0* começou na Inglaterra por volta de 1784, século XVIII, e durou até aproximadamente 1870, século XIX (NICOL, 2015) e representou uma transição da economia artesanal para a industrial (CARVALHO, 2010). Segundo Righi (2009, p. 56), esse período se caracterizou pela “substituição da força humana e de animais pela força das máquinas”. Adicionalmente, Celani e Frajndlich (2016) assinalaram que nessa época foi marcada pelo uso de água a vapor e pela ferrovia. Houveram novos avanços tecnológicos e a 1ª revolução Industrial cedeu lugar para as inovações da 2ª Revolução Industrial.

2ª Revolução Industrial

A 2ª Revolução Industrial ou *Industry 2.0* ocorreu por volta dos anos de 1870, século XIX, a 1968, século XX, (NICOL, 2015) e se caracterizou pela descoberta de novas fontes de energia, como a eletricidade e o petróleo, e pela divisão do trabalho que “levaram aos novos conceitos de produção em massa e economia em escala” (CELANI; FRAJNDLICH, 2016, p. 162, tradução nossa). Os mesmos autores (p. 162) citam que com o desdobramento da tecnologia, a arquitetura buscou “integrar o *design* de componentes produzidos em massa com utopias urbanas, levando ao conceito de casas produzidas em massa, buscando uma estética industrial”; contudo, mais tarde, após a Segunda Guerra Mundial, as casas produzidas em massa passaram a existir devido ao uso de elementos pré-moldados que foram usados na reconstrução das cidades europeias.

Com as descobertas realizadas ao longo da 2ª Guerra Mundial, houve o desenvolvimento da Tecnologia da Informação e, assim, a 2ª Revolução Industrial chegou ao fim e abriu espaço para a 3ª Revolução Industrial.

3ª Revolução Industrial

A 3ª Revolução Industrial, *Industry 3.0*, também chamada de Revolução do Computador ou Tecnológica (RIGHI; CELANI, 2007), começou por volta de 1969, século XX, e vai até início do século XXI, não tendo uma data precisa do seu fim (NICOL, 2015), pois o término da 3ª Revolução se confunde com o início da 4ª Revolução Industrial.

Segundo Mitchell e McCullough (1994 apud RIGHI, 2009), a 3ª revolução substituiu a força da mente por máquinas de processamento de informação. Ela se caracteriza pelo uso da eletrônica e da Tecnologia da Informação (TI) para automatizar a produção (SCHWAB, 2016) e as atividades que se desenvolveram nessa revolução foram a informática, microeletrônica, telecomunicações, optoeletrônica, computação e engenharia genética (CASTELLS, 1999 apud BRAZ, 2016). Braz (2016, p. 7) acrescenta que essa revolução também foi marcada pela invenção do computador na 2ª Guerra Mundial, da internet e do sistema *wireless* na década de 1990, integrando o mundo através de redes.

A criação do transistor, do circuito fechado e do chip de silício causaram uma aceleração nas invenções de novas tecnologias e produtos, como o *hardware*, o *software* e o computador, até que a velocidade de processamento e a capacidade dos computadores aumentaram resultando na redução de custos e de tamanho, tornando-se acessível à população (RIGHI; CELANI, 2007). Ou seja, o tamanho físico e a capacidade de processamento dos computadores são inversamente proporcionais, pois enquanto o primeiro foi reduzindo ao longo do tempo, o outro foi aumentando até chegar no armazenamento em nuvem (*cloud*). A computação em nuvem, *cloud computing*, trata-se da possibilidade de “utilizarmos, em qualquer lugar e independente de plataforma, as mais variadas aplicações por meio da internet com a mesma facilidade de tê-las instaladas em computadores locais” (ALECRIM, 2015, s.p.). Essa tecnologia está presente em vários setores, inclusive para uso privativo das pessoas, se tornando um caminho sem volta.

Como consequência a todas essas evoluções tecnológicas, a 3ª Revolução Industrial causou transformações não apenas na indústria, mas também na cidade, na sociedade e na construção civil, que podem ser observadas a seguir.

3ª Revolução Industrial - Impacto na vida do ser humano

A Revolução Tecnológica acarretou grandes transformações na sociedade em rede, conectada e globalizada, como chama Castells (1999 apud BRAZ, 2016), principalmente com o surgimento dos computadores domésticos na década de 70, seguido dos portáteis e da internet (RIGHI; CELANI, 2007). Com o barateamento dos computadores, a tecnologia tornou-se mais acessível à população que passou a ter

diferentes tipos de equipamentos em suas moradias, desde computadores e *laptops* até *tablets* e *smartphones*.

Ao mesmo tempo que o “computador delimitou a capacidade de processamento de informações de execução de tarefas pelo cérebro humano”, também a ampliou (TERZIDIS, 2006 apud RIGHI; CELANI, 2007, s.p.), uma vez que os dispositivos conectados à internet e a alta de velocidade de troca de informações estimulam as pessoas a desempenharem diferentes tarefas ao mesmo tempo.

Souza (2015) comenta que muitas profissões deixaram de existir por causa da globalização como é o caso do datilógrafo, da telegrafista, do motorneiro (condutor dos bondes), operador de mimeógrafo (equipamento que produzia cópias a partir de matriz perfurada), caneteiro (profissional que consertava canetas tinteiro), entre outros. Em contrapartida, surgiram novas funções tais como desenvolvedor de aplicativos, analista de mídias sociais, tecnologia da informação (TI), desenvolvedor de jogos, desenvolvedor de Web, engenheiro de *software* dentre outros (GUIA DE CARREIRA, s/d). Desse modo, conforme Souza (2015) cita, o profissional de hoje tem que ser multiplicador de conhecimento, conhecer diversos e novos parâmetros para poder administrar novos conceitos e funções diferenciadas.

Com as TICs, houveram mudanças em várias áreas como na saúde, na educação, nos serviços bancários, nas empresas, na indústria e no trânsito. Na saúde, a medicina avançou de tal forma que é possível diagnosticar doenças de forma mais clara e precisa, além da maior facilidade de comunicação entre os médicos. A automação de tarefas na área bancária cresceu com a disponibilidade de informação e com os caixas eletrônicos. O controle do tráfego de veículos é feito via satélite viabilizando o controle de velocidade pelos órgãos responsáveis (BERTAGNOLLI, 1997).

Em relação as empresas, Mattos (1978) apontou em sua pesquisa dez aspectos positivos e onze negativos sobre o impacto gerado pelo computador nas empresas. Apesar dessa publicação ter 39 anos, os aspectos apontados pelo autor continuam relevantes e dentre os impactos positivos se destacam: o aumento da capacidade da empresa de tratar suas próprias informações, rapidez na obtenção de informações, integração de subsistemas e maior controle sobre a organização. Já os pontos negativos que observamos hoje em dia são a submissão à máquina, poluição de informações e evasão de informações.

3ª Revolução Industrial - Impacto na construção civil

A popularização do computador, da internet e a globalização despertou a busca de produtividade, qualidade e redução de custos na construção (NASCIMENTO;

SANTOS, 2001). A introdução do computador nas empresas levantou uma questão ainda discutida hoje: tratamento do fluxo de informação entre os vários agentes do processo de projeto, fator crítico para o sucesso de um empreendimento. Isso influenciou o desenvolvimento de sistemas de gestão, controle de qualidade e ferramentas colaborativas como os extranets de projetos (NASCIMENTO; SANTOS, 2003, p. 70). Essas questões voltam a ser discutidas atualmente com a implementação da plataforma BIM⁵ no projeto e na construção.

Outro aspecto iniciado no período da 3ª Revolução Industrial foi a reciclagem de resíduos e adoção de sistema de gestão ambiental para resíduos sólidos gerados pela construção, que se consolidou com as preocupações sustentáveis de atenuar os impactos causados pelo setor, além de buscar a redução dos custos da construção (ÂNGELO, ZORDAN, JOHN, 2001). Com isso, a análise do ciclo de vida (ACV) também ganhou força na prevenção de poluição (CYBIS; SANTOS, 2000).

No Brasil, durante a década de 70, a construção civil foi marcada por um grande crescimento da área de avaliação e perícia de empreendimentos. A década seguinte caracteriza-se pelo forte desemprego e aumento da informalidade no setor. Contudo, após 1989, período pós ditadura militar, houve um processo de modernização da construção civil com aquisição de sistemas construtivos, tecnologia e materiais estrangeiros, surgimento de certificações ISO, conceitos de qualidade, industrialização e *lean construction* (construção enxuta). Com isso, os canteiros ficaram mais especializados, demandando “mão de obra qualificada e atualizada com os métodos racionais e tecnologias sustentáveis” (BLANCO, 2008, s.p.). Percebeu-se na década de 90 um aumento da competitividade, desenvolvimento logístico, desenvolvimento das comunicações e desenvolvimento sustentável. “Apesar das mudanças ocorridas nas últimas décadas, o setor ainda não conseguiu se igualar ao nível de eficiência, produtividade e qualidade de outros setores da indústria” (NASCIMENTO; SANTOS, 2003, p. 70).

Vale comentar que o acesso da população aos computadores, dispositivos móveis e a internet, resultou na necessidade de adaptação das construções residenciais e comerciais, principalmente com relação a carga de energia elétrica e a quantidade de tomadas. E isso interfere não só no projeto de arquitetura, mas também nas instalações da edificação.

⁵ BIM é a sigla de Building Information Modeling ou Modelagem da Informação da Construção, em português.

3ª Revolução Industrial - Impacto na vida do arquiteto

Com a 3ª Revolução Industrial, as questões levantadas em décadas anteriores agora são debatidas em escala global, contudo o compromisso com a sociedade, característica dos profissionais do século XX, foi sendo abandonado, uma vez que os arquitetos não oferecem soluções de moradia econômica e restringem-se a produções espetaculares e de orçamento elevado, ao invés de atenderem as necessidades da maioria da população. Por outro lado, a articulação dos processos de projeto, construção e gestão dos edifícios passaram a levar em conta aspectos sustentáveis, observando o desperdício de energia na produção e no funcionamento da construção, além da exigência da durabilidade que levou a reconsideração da tipologia, envelopes, atenção para a implantação, orientação e relação com recursos naturais. Ou seja, começou a existir uma consciência global da importância dos recursos naturais do planeta (COHEN, 2013).

O mesmo autor fala que surgiu um interesse pela arquitetura *high-tech* com uma proposta renovada entre nova arquitetura e nova tecnologia, que exalta a técnica e emprega materiais de tecnologia avançada. Os principais arquitetos desse momento são Renzo Piano, Richard Rogers, Norman Foster, Santiago Calatrava, entre outros. Contudo, o autor destaca que a arquitetura foi se transformando em monumental e ornamental, exibindo interesse pela sua escala, dimensão urbana e territorial, materialidade, pelo modo como se comunica e o rigor tectônico foi substituído pelo jogo de ornamentos de superfícies. Salgado (2004b, s.p.) expõe que “aliar a forma à função não mais atendia às expectativas daquela sociedade” e o arquiteto voltou a se questionar sobre seu papel na sociedade.

Segundo, Nascimento e Santos (2001, s.p.), a partir da década de 80, a informática contribuiu para automatizar tarefas específicas no processo de projeto, tornando as atividades mais rápidas, eficientes e aumentando o fluxo de informação a serem processados. E acrescenta que inicialmente as ferramentas utilizadas eram genéricas (planilhas eletrônicas, sistemas de banco de dados e editores de texto), mas depois usou-se “ferramentas especializadas no desenvolvimento de desenhos (CAD), na elaboração de orçamentos e no gerenciamento de projetos”. Em relação ao gerenciamento de projetos, Correa, Salgado e Santos (2011, p. 766) citam que a incorporação pela indústria da construção civil, principalmente escritórios de arquitetura, de ambientes colaborativos baseado na *Web* “cria a possibilidade de implantação de uma gestão participativa de projetos baseada na construção coletiva do conhecimento”.

Durante a década de 90, houve uma transição dos métodos tradicionais de projeto (prancheta, lapiseira, gabaritos, nanquim) para o uso de ferramentas computacionais (CARVALHO; SAVIGNON, 2012). Na arquitetura contemporânea, o

computador tornou-se presente no processo de representação de projeto e avançou como ferramenta de projeto, se tornando parte do processo criativo. Esse processo culminou no surgimento de simulações virtuais, *softwares* e outras mídias cada vez mais exigidas na área, como é o caso dos programas CAD⁶ que surgiram nos anos 60 (RIGHI; CELANI, 2007). Esses avanços possibilitaram que os arquitetos visualizassem o projeto, ainda em suas fases iniciais, em ambientes 3D virtuais, fazendo com que os meios digitais influenciassem a metodologia de projeto de muitos profissionais (RIGHI, 2009). A respeito desse último aspecto, Silva (1997, p. 117) expõe que

com a incorporação de meios eletrônicos, arquitetos vem trabalhando novos conceitos espaciais e composições formais ancestrais de modo contemporâneo, passando de elementos digitais diretamente inseridos nos edifícios, que possibilitam suas reconfigurações, ao uso interativo de imagens sintéticas que ampliam e criam espaços além dos corpos concretos dos edifícios.

A relação do computador com o ato de projetar, tanto no ensino de graduação como no campo profissional, é um assunto recorrente nos dias atuais e sobre isso, Righi (2009) aborda que deve haver integração e não competição entre os meios tradicionais e as ferramentas digitais, é o chamado método híbrido. Para Duarte (2016, p. 28, grifo nosso)

entre o final dos anos 1980 e o início dos anos 1990, com popularização dos computadores pessoais, surgiu o que ficaria conhecida como arquitetura eletrônica, digital ou virtual. No mais das vezes, o fascínio das novas formas de representação suplantou o resultado final. Nos escritórios e escolas de arquitetura, havia uma disputa entre aqueles que desprezavam o uso de computadores para a concepção e representação de projetos arquitetônicos, e aqueles que desprezam tais críticos, como se de uma geração ultrapassada. Ambos tinham um ponto em comum: estavam errados. Ambos estavam focados no meio, na técnica e na tecnologia. **Como se o lápis ou o computador trouxessem inerentes o caráter do projeto. Como se a técnica determinasse a ética.**

A discussão referente aos meios de representação e projeção é extensa e foge ao propósito dessa pesquisa. Ressalte-se que, tanto o lápis no passado, como o computador na atualidade, são ferramentas a serviço do profissional de arquitetura, e que a qualidade do projeto dependerá da formação desse profissional e não da ferramenta escolhidas para o desenvolvimento de projeto.

Outra questão desse período é a interatividade entre o homem e o computador que avançou do decorrer do tempo. Segundo Righi (2009, p. 75-76), o “uso de tecnologias interativas [...] auxilia na otimização de processos, diminuindo o tempo para a realização de tarefas, melhorando a produtividade e possibilitando atingir um nível de desenvolvimento”.

Como desdobramento da utilização da internet nos processos cotidianos da sociedade e com o aumento contínuo de sua velocidade (capacidade da troca de dados)

⁶ CAD é a sigla de *Computer Aided Design* ou desenho assistido por computador, em português.

em um espaço menor de tempo, começou a surgir um processo natural de aproximação do mundo físico com o mundo virtual. Ou seja, os processos realizados no mundo digital têm cada vez mais impacto no mundo físico e vice-versa. Com isso, o fim da 3ª Revolução Industrial se confunde com o início da 4ª Revolução Industrial, por uma ser o desdobramento da outra, como será visto a seguir.

4ª Revolução Industrial

Em 2018, estamos vivenciando a 4ª Revolução Industrial, segundo Schwab (2017). Contudo, seu surgimento difere das demais revoluções por ser difícil perceber quando houve o término da 3ª Revolução e início da nova revolução. Para Schwab (2017), existem três razões que demonstram que a 4ª Revolução está em andamento e não representa uma parte da 3ª Revolução Industrial: (1) velocidade – essa revolução está evoluindo em ritmo exponencial, ao invés de linear como as demais, isto é resultado do mundo interligado e da tecnologia cada vez mais capaz; (2) amplitude e profundidade - baseia-se na revolução digital e como as tecnologias estão mudando paradigmas de “como” e “o que” fazemos e, também, “quem” somos; (3) impacto nos sistemas - envolve transformações de sistemas em países, empresas, indústrias e na sociedade como um todo.

Os avanços tecnológicos da 4ª Revolução Industrial, *Industry 4.0*, abrangem inteligência artificial (AI), robótica, Internet de Coisas (IoT), veículos autônomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência de materiais, armazenamento de energia, computação quântica, entre outros (SCHWAB, 2017). Além dessas tecnologias, Ferracane (2015) também cita outras inovações como fabricação de aditivos, computação em nuvem e tecnologia de sensores que estão conduzindo processos industriais mais inteligentes, novos modelos de negócios e produtos personalizados.

Essa revolução baseia-se no conceito *cyber-physical systems* (sistema físico cibernético), que trata de uma interação profunda dos mundos real e virtual (FERRACANE, 2015), ou seja, uma fusão de tecnologias borrando os limites entre as esferas físicas, digitais e biológicas (SCHWAB, 2016).

Para a ascensão da 4ª Revolução Industrial, dois avanços tecnológicos são fundamentais: a Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*) e a fabricação de aditivos, segundo Ferracane (2015). E complementa dizendo que o primeiro se refere a objetos físicos (carros, geladeiras, semáforos, etc.) capazes de se identificarem e se comunicarem entre si através da internet. Já a fabricação de aditivos, conhecida como impressão 3D, fabricação digital ou prototipagem rápida, permite imprimir objetos físicos a partir de modelos virtuais, possibilitando que o indivíduo customize qualquer produto e participe do processo de fabricação.

A 4ª Revolução mudou a forma como nos comunicamos, trabalhamos, expressamos, informamos e nos divertimos, da mesma forma, estão sendo redefinidos os governos, instituições, sistemas de educação, saúde, transporte, entre outros (SCHWAB, 2017). Para o futuro, estima-se que os custos de transporte, comunicação e do comércio cairão, o que abrirá novos mercados e impulsionará o crescimento econômico; o mercado de trabalho demandará as extremidades de alta qualificação-alta remuneração e baixa qualificação-baixo salário, resultando no esvaziamento da categoria intermediária; surgirão novas maneiras de consumir bens e serviços mobilizada pelo comportamento do consumidor que acessa a internet; por fim, a tecnologia afetará a natureza da segurança nacional e internacional devido as informações estarem disponíveis na nuvem (SCHWAB, 2016).

Embora haja incerteza a respeito das transformações que serão provocadas pela 4ª Revolução Industrial, é possível observar alguns indícios do futuro cenário com relação ao impacto na vida das pessoas, na construção civil e na arquitetura e urbanismo, conforme está apontado abaixo.

4ª Revolução Industrial - Impacto na vida do ser humano

“A tecnologia definitivamente transformou nosso mundo para sempre” e em 2018 é difícil se imaginar sem internet, sem *smartphone*, não usar aplicativos de geolocalização (mapas), não mandar mensagens pelo celular, não ter conta em redes sociais e apenas ouvir música em CD ou LP (GUIA DA CARREIRA, s.d., s.p.). A tecnologia evoluiu de tal forma que, para Cardoso (2007 apud BRAZ, 2016, p. 8), ela “está ligada à vida cotidiana de maneira intrínseca e é inseparável”, de modo que tudo passa a ser feito no mundo digital desde transações até análise do trânsito por aplicativos, ou seja, tudo está conectado.

Mais de 30% da população global usa plataformas de mídia social para se conectar, aprender e compartilhar informações e a tecnologia tornou possível acessar remotamente produtos e serviços, que aumentam a eficiência de nossas vidas, como pedir um táxi, reservar um voo, comprar um produto e efetuar um pagamento. Como toda transformação é acompanhada de consequências, a 4ª revolução afetará nossa identidade, senso de privacidade, padrões de consumo, habilidades e relacionamentos, além disso a conexão constante pode nos privar de se envolver em conversas significativas no mundo real (SCHWAB, 2016).

Outras inovações que estão surgindo são carros sem motorista que utilizam sensores e *softwares* para se localizarem e reconhecer pessoas, objetos e outros carros. Também existem nas fábricas a comunicação máquina-máquina que permite ajustar

mudanças, prever falhas e se autoconfigurar sem assistência humana (FERRACANE, 2015).

4ª Revolução Industrial - Impacto na construção civil

Dentre as inovações já observadas na construção civil destacam-se a adoção de ferramentas de fabricação digital para a "impressão" de elementos construtivos ou mesmo da edificação inteira, o que elimina o desperdício de material no canteiro, aumenta a segurança do trabalhador, diminui o tempo de construção e o custo da obra. A China e o Estados Unidos utilizam essa tecnologia e a China consegue construir dez casas em apenas 24 horas usando a impressão 3D. Além disso, existem sensores vestíveis que são colocados, por exemplo, em um relógio de pulso para monitorar a temperatura corporal do trabalhador e evitar exaustão térmica; contrapiso autonivelante, material com alta fluidez que acelera em 50% a execução do piso por pavimento e diminui o estoque de agregados no canteiro; além de drones que permite o monitoramento do canteiro de obra em tempo real bem como fazer mapeamento em 3D (CONSTRUCT, 2016).

De acordo com Muller (2015), novas tecnologias estão surgindo e exemplos disso são a impressora de ruas desenvolvida por Tiger Stine (Figura 7A), que organiza os blocos em uma matriz e possui uma esteira que os posiciona no chão; o elevador multidirecional (Figura 7B) sem cabos movido a levitação magnética que está sendo elaborado pela ThyssenKrupp; asfalto inteligente que é permeável; tijolos inteligentes da Kite Bricks para construção de casas baseados em encaixes sem necessidade de cimento; e enxame de robôs construtores, projeto desenvolvido por pesquisadores de Harvard, EUA, inspirado em estruturas construídas por cupins e outros insetos.

Figura 7 – (A) Impressora de rua; (B) elevador multidirecional



Fonte: Muller (2015)

4ª Revolução Industrial - Impacto na vida do arquiteto

Igualmente, a influência da tecnologia sobre a arquitetura e urbanismo está criando novas funções no mercado de trabalho, conforme aponta lista criada pela revista *Archipreneur* publicada no Arcoweb (2015). Nessa publicação, entre as funções citadas estão o especialista em BIM, tecnólogo em projeção digital (profissional que lida com prototipagem rápida dentro dos escritórios), gerente de mídias sociais, profissional de visualização arquitetônica 3D (especialista em modelagem, iluminação, renderização ou pós-produção) e designer gráfico de animação.

Isto posto, constata-se que cada revolução mudou a forma das pessoas se relacionarem e enxergarem o mundo. Também é visível que a construção civil e a arquitetura acompanham a evolução da sociedade desde sua origem. Agora, analisando a trajetória das quatro revoluções industriais, percebe-se a existência de um ciclo de evolução, iniciado pela criação da máquina a vapor, que se repete a cada revolução industrial, conforme mostra a Figura 8. A máquina a vapor (nova tecnologia) permitiu o desenvolvimento da indústria, impulsionando os diversos setores da economia que, por sua vez, oferecem novos produtos e serviços à população que passa a criar novos hábitos, demandando novas tecnologias ao mercado, iniciando, assim, um novo ciclo que normalmente é caracterizado por nova revolução industrial.

Figura 8 – Ciclo das revoluções industriais.



Fonte: Autor

A cada ciclo, o mercado de trabalho também sofre alterações, demandando novas características aos profissionais, que, por sua vez, se atualizam. O mesmo ocorre no campo da arquitetura e urbanismo, onde os profissionais devem cada vez mais se preparar para adotar de forma eficiente as potencialidades que a tecnologia tem trazido, tanto no processo de projeto quanto no planejamento da construção.

3.2 TICs no cenário da 3ª e 4ª Revolução Industrial

A partir das inovações tecnológicas da 3ª e 4ª Revoluções Industriais surgiram Tecnologias de Informação e Comunicação que impactaram o campo da arquitetura e

urbanismo. Dessas tecnologias, BIM, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD) foram escolhidas como recorte a serem tratadas nessa pesquisa. As subseções a seguir apresentam essas TICs.

3.2.1 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

O BIM, *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção é apontada como uma das tecnologias que está transformando a construção civil. BIM é definido por Eastman et al. (2014, p. 461) como “ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas pela documentação digital e legível pelo computador de uma edificação, seu desempenho, seu planejamento, sua construção e, posteriormente, sua operação. Portanto, o termo BIM descreve uma atividade, e não um objeto”. Para esse autor, BIM é um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria relacionada à AEC, e **não se refere a um tipo de software**, mas uma atividade humana que envolve mudanças amplas no processo de construção. Eastman et al. (2014) acrescentam que a metodologia BIM não é a conversão do 2D para o 3D, mas um **processo de projeto baseado em um modelo 3D parametrizado que contém especificações dos componentes de todos os projetos envolvidos na edificação. O BIM gerencia e produz dados da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida**, permitindo uma melhor performance do edifício.

Para Birx (2006 apud GARBINI, 2013), BIM trata da terceira geração do CAD que tem como objetivo principal integrar informações geométricas (forma, posição, dimensões, etc.) com dados não geométricos (material, volume, custo, etc.) por meio de relacionamentos associativos e paramétricos (BIRX, 2006 apud GARBINI, 2013).

A plataforma BIM se refere não apenas aos *softwares* que permitem a modelagem paramétrica da informação, mas também a forma de trabalho e ao processo de projeto que estão por trás da adoção desses *softwares*.

Antes de compreender quais são as premissas da plataforma BIM é importante compreender o que é CAD. O CAD surgiu na década de 1960 e o termo é a abreviação de *Computer-Aided Design*, projeto auxiliado por computador. Os *softwares* CAD “permitem ao usuário criar e construir objetos a partir de figuras geométricas simples em duas dimensões e gerar imagens em três dimensões na tela do computador, que depois podem ser armazenados, manipulados e atualizados” (TURBAN et al., 2004 apud GARBINI, 2013, p. 48). Righi (2009) diz que o CAD modificou o método de projeto e transformou as formas de representação e expressão gráfica, além disso destaca a importância dos desenhos manuais no processo criativo, na flexibilidade e na liberdade

de concepção, apesar das vantagens oferecidas pelos programas como facilidade de correção, edição e precisão.

Para a geração atual, CAD é utilizado como abreviação do programa que domina o mercado (AutoCAD), assim como, para diferenciar de outros *softwares* CAD, como o SketchUp e Rhinoceros (KOS, 2016). Segundo o mesmo autor, o termo CAD tende a desaparecer, porque foi necessário em um período que precisava diferenciar quando se utilizava uma ferramenta digital e quando usava uma ferramenta tradicional (lápiz e papel) e, também, tende ao desuso pelo fato dos conhecimentos de desenho digital serem introduzidos desde o início do curso de graduação, deixando de ser necessário usar essa expressão.

Ainda que os programas CAD tenham surgido da década de 1960, seu uso só expandiu no Brasil com a popularização do computador na década seguinte (1970), mas foi na década de 80 que teve maior influência no campo da arquitetura e urbanismo quando o custo do computador se tornou mais acessível. Nessa década surgiu a primeira versão do AutoCAD em 1982. Embora os primeiros programas reproduzissem em 2D as ferramentas de desenho tradicional, as principais vantagens verificadas com o CAD eram a precisão do desenho e a facilidade de repetição (KOS, 2016).

Garbini (2013, p. 50) expressa que existem diferentes tipos de CAD: CAD geométrico, CAD 3D e CAD-BIM. O primeiro, muito utilizado na construção civil, representa informações através de elementos geométricos primitivos (linha, ponto e arco) e representa uma prancheta melhorada, não trazendo melhorias de comunicação entre os agentes do processo de projeto. O CAD 3D, também chamado de maquete eletrônica, trata-se da conversão em 3D de processos iniciados em 2D em outros *softwares* CAD geométricos. Similarmente ao CAD geométrico, o CAD 3D resultou em pouca melhoria de qualidade de informação gerada. Já o CAD-BIM refere-se a “modelagem da informação orientada ao objeto” e corresponde à terceira geração do CAD.

É importante dizer que Righi (2009, p. 68) destaca uma referência de 1986 (Kennedy, 1986) cujo autor expressa que “a Inteligência Artificial começava a ser cogitada para ser incorporadas aos programas CAD” e “produziria soluções de projeto automaticamente a partir de informações fornecidas previamente pelos projetistas”. Com os avanços tecnológicos da 4ª Revolução Industrial, é possível imaginar que isso se torne efetivo em breve e a tecnologia de projeto que talvez venha a se desenvolver nesse aspecto seja a plataforma BIM.

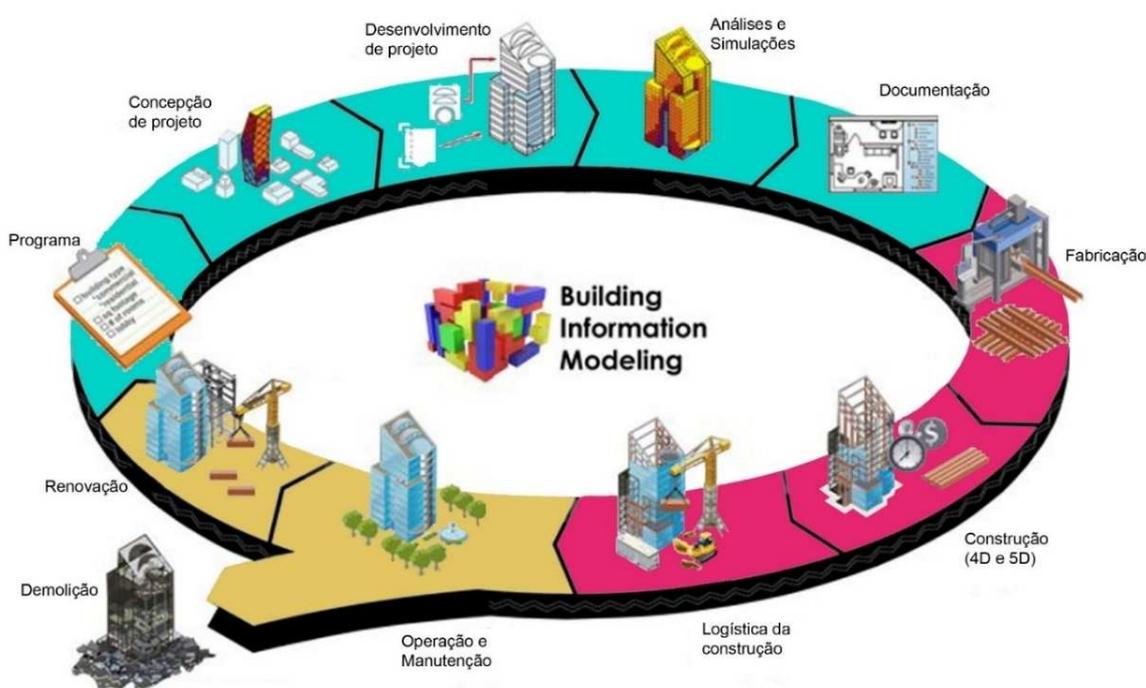
Segundo Santos e Barison (2011), o uso da Modelagem da Informação da Construção agrega valor ao projeto levando-se em conta os seguintes aspectos: (1) a detecção de incompatibilidades e soluções projetuais deixam de ser feita na obra e

passa para a fase de projeto, com isso a comunicação entre projetistas, fornecedores e construtora é antecipada; (2) quantitativos, simulações e análises são formuladas de maneiras muito rápidas e mecânicas; (3) ocorre aumento do desempenho dos projetistas, redução de prazo e potencialização do trabalho da mão de obra no canteiro; (4) as incompatibilidades de projeto e os desperdícios diminuem durante a construção contribuindo, dessa forma, para a preservação dos recursos naturais.

Apesar da plataforma BIM estar sendo amplamente discutida atualmente, os conceitos, abordagens e metodologia do BIM datam de 1975 quando foi inventada pelo Prof. Charles Eastman do Instituto de Tecnologia de Geórgia, EUA. Contudo o primeiro uso registrado do termo *Building Modeling* no sentido usado atualmente foi apenas em 1986 por Robert Aish (EASTMAN et al., 2014).

Conforme dito anteriormente, o BIM envolve informação que percorrem todas as etapas do ciclo de vida da edificação compreendendo a fase de projeto (verde), fase de construção (rosa) e fase de operação e manutenção, demolição e renovação do empreendimento (amarelo) (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016), conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – BIM ao longo do ciclo de vida da edificação



Fonte: Basto e Lordsleem Junior (2016)

A fase de projeto é composta pelo planejamento, concepção, desenvolvimento de projeto, análises e simulações e documentação (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016). Na etapa de **planejamento e concepção**, pode ser feito um estudo de massa

com informações agregadas para calcular a viabilidade da construção e a partir dessas informações é possível extrair resultados de custo, tempo, área, impacto da construção, entre outros. Um dos *softwares* utilizados para estudo de viabilidade é o DProfiler. A partir da análise das informações do estudo de viabilidade pode-se alterar o sistema construtivo escolhido para outro que atenda a viabilidade, por exemplo, antes de começar a desenvolver o projeto.

Ruschel (2014, p. 8) argumenta que ferramentas BIM são mais voltadas “para a fase de desenvolvimento de projeto do que para concepção”, apesar de já existirem ferramentas como o Dynamo para Revit e Vasari que trabalham na fase de concepção de projeto e avaliação de desempenho. A mesma autora (p. 10) complementa que “para implementar no ensino de arquitetura os modelos de concepção digital [...] mediados por BIM requer-se incluir o ensino da programação visual para modelagem parametrizada, conhecimento de interoperabilidade e de tradução de modelos”.

Para **desenvolvimento do projeto**, os *softwares* mais utilizados no Brasil na área de arquitetura e urbanismo são Revit, Archicad e Vectorworks. Esses programas possuem ferramentas de construção do modelo, que constroem virtualmente o empreendimento, além de possibilitar o levantamento de quantitativos e estimativa de custos e fazer a redução de erros de projeto usando detecção de interferências (CBIC, 2016a).

A plataforma BIM permite realizar **análises e simulações** “do comportamento e do desempenho de edifícios e instalações, ou de suas partes e sistemas componentes” como “análises estruturais, análises energéticas (simulação do consumo de energia), estudo térmicos e termodinâmicos, estudos de ventilação natural, estudos de níveis de emissão de CO₂, estudos luminotécnicos e estudos de insolação e sombreamento”. Também pode ser feito a análise do modelo a partir de regras de verificação com o programa Solibri (Quadro 4). Outra possibilidade é análise de construtibilidade, que estuda e define a sequência de montagem, a partir da combinação da construção virtual, detecção de interferências e planejamento 4D (CBIC, 2016a, p.33).

Apesar do cenário promissor, Brígite e Ruchel (2016, p. 24) apontam que

o desempenho em projeto ainda é avaliado através de processos analíticos e simulações físicas, com pouca interação por intermédio de ferramentas computacionais, apesar de haver conhecimento sobre elas nessa etapa. Esse cenário pode advir da barreira resultante da baixa interoperabilidade entre as ferramentas de modelagem e as análises disponíveis. Outro impedimento ao uso de ferramentas computacionais de análise de desempenho, apesar do conhecimento, é a complexidade inerente dessas ferramentas, que encontra como contrapartida o desejo por simplicidade por parte dos projetistas.

Com isso, as mesmas autoras pesquisaram métodos de realizar diversas simulações computacionais (acústico, térmico, luminoso, consumo de água,

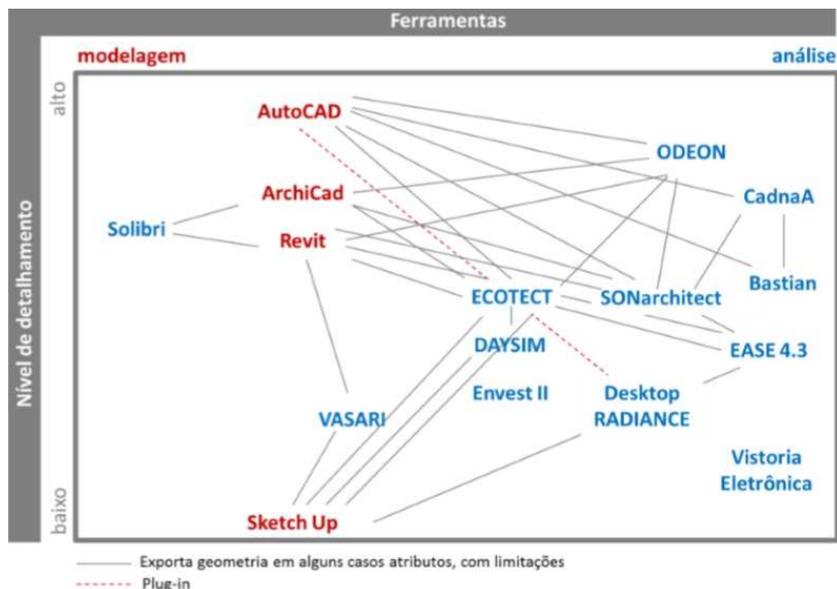
acessibilidade e consumo de material) a partir de um único modelo, visando reduzir perda de informação durante a fase de concepção de projeto e, assim, promovendo uma otimização do uso de BIM em projetos. Um dos resultados desse estudo é a caracterização de ferramentas de simulação e a elaboração de um macro fluxo da comunicação entre essas ferramentas que podem ser observadas nas Figura 10 e Figura 11, sucessivamente.

Figura 10 - Caracterização de ferramentas de simulação

	Desempenho Acústico	Desempenho Térmico	Desempenho Luminoso	Acessibilidade	Consumo de Água	Consumo de Materiais
Escopo	Transmissão de ruído; Emissão de ruído; Isolamento Acústico.	Nível de radiação solar; Sombras e ventos.	Desempenho Luminoso; Radiação Solar; Sombras; Luminância e Iluminância.	Check lists ; Análise de conflitos ; Conformidade com código de obras	?	Estimativa dos impactos ambientais no ciclo de vida do edifício.
Ferramentas	ECOTECT 2011; Bastian; CadnaA; Ease 4.3; Odeon; SONarchitect ISO;	ECOTECT 2011; Project Vasari	ECOTECT 2011; Daysim; Desktop Radiance.	Vistoria Elettronica; Solibri Model Checker.	?	Envest II.
Objetivos	Controle de ruído aéreo ou impacto, interno ou externo.	Controle de temperatura nos ambientes internos no inverno e no verão.	Garantia do nível adequado de iluminância (lux), sem ganho solar.	Garantia do direito universal de ir e vir.	Garantia de conservação e uso racional de água.	Redução da quantidade de material consumido para construção.

Fonte: Brigitte (2013, p. 101)

Figura 11 - Macro fluxo da comunicação entre essas ferramentas



Fonte: Brigitte (2013, p. 107)

Ainda sobre os *softwares* de simulação, Delbin (2006, p. 108-109) aponta dez características que as ferramentas de simulação de desempenho térmico devem atender para serem utilizadas com finalidade educacional. São elas:

(1) analisar desempenho térmico; (2) ter interface simplificada; (3) oferecer resultado preferencialmente gráfico; (4) fazer intercâmbio de arquivos com programas CAD; (5) exportar o modelo para programas mais refinados sem necessidade de retrabalho; (6) ter um banco de dados de materiais construtivos e o mesmo também deverá ser editável para inserção de dados relativos aos materiais disponíveis no mercado brasileiro; (7) ter um banco de dados de arquivos climáticos, converterem dados climáticos de outros formatos para utilização no programa; (8) oferecer tutoriais e listas de discussão sobre o programa; (9) fazer um programa validado, por metodologia reconhecida, ou permitir fácil exportação dos dados para um programa mais confiável; e (10) oferecer boa relação custo benefício, tanto para aquisição, como para treinamento de usuários.

A **documentação** - plantas, vistas, cortes, fachadas, detalhes, tabelas, entre outros - é extraída automaticamente do modelo, ou seja, é o resultado da modelagem do projeto reduzindo a quantidade de tempo, erros relacionados a geração de desenho e o controle de mudanças no projeto (EASTMAN et al., 2014).

A fase de construção compreende a fabricação, construção e logística da construção (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016). Sobre a primeira, com a plataforma BIM é possível viabilizar e intensificar a industrialização (CBIC, 2016a, p.37). Outra alternativa é a fabricação digital que se refere “às tecnologias CNC (máquinas de controle numérico) sugerindo a transferência de dados de um modelo digital para uma máquina visando à fabricação direta de elementos construtivos a serem enviados para a obra, formas para concretagem ou ainda protótipos em escala real” (PUPO, 2016). Os protótipos podem ser usados como forma de comunicação para facilitar a compreensão de certas soluções projetuais permitindo transmitir a complexidade construtiva da edificação, além de permitir uma avaliação antecipada do produto e eliminar possíveis falhas (SAVIGNON; SALGADO; LASSANCE, 2012). Do mesmo modo, existem impressoras de concreto que imprimem peças de tamanho real, inclusive casas (SANTOS, 2014b), contudo necessitam de controle tecnológico preciso para atingir a textura e resistência correto.

Antes do início da construção, a plataforma BIM viabiliza o planejamento 4D e 5D. O **planejamento 4D** é composto pelo modelo 3D adicionado a linha do tempo compondo o cronograma físico da obra. As informações do modelo e, conseqüentemente, o quantitativo de material está vinculado com o cronograma produzido pelos *softwares* Navisworks e Synchro 4D de planejamento 4D, desse modo, quando uma alteração é feita no modelo, o cronograma é atualizado, permitindo melhor controle da obra. Além disso, o planejamento 4D proporciona estudar todas as etapas e atividades previstas na execução da obra e, por meio da construção virtual, a

plataforma BIM permite ensaiar a obra no computador modelando, assim, o processo de construir (CBIC, 2016a).

Já o **planejamento 5D** é a união do modelo 4D com o custo formando cronograma físico-financeiro. Os *softwares* mais utilizados são Vico e Navisworks e, da mesma forma que o planejamento 4D, ocorre a atualização automática das informações do cronograma físico-financeiro quando o modelo está vinculado ao programa. Esses dois planejamentos auxiliam o acompanhamento e a verificação das atividades da construção no canteiro de obra (EASTMAN et al., 2014).

Em relação a **logística da construção**, a plataforma BIM propicia a simulação e planejamento do canteiro de obra como a entrada e saída de veículos e de materiais na obra. Ademais, pode-se utilizar o modelo BIM para “rastrear e controlar componente de uma edificação”, ou seja, “as informações podem ser utilizadas para a gestão ativa de todo o processo de pré-fabricação, armazenamento, montagem, controle de qualidade e liberação de medições para pagamento”. Outra opção é a verificação de níveis e locações da obra “a partir de informações previamente referenciadas num modelo BIM, utilizando equipamentos do tipo ‘estação total” (CBIC, 2016a, p. 46-50).

Após a entrega da obra, as informações do modelo servem como base de dados para a fase de **operação e manutenção** ou gestão de *facilities* a partir do formato COBie. Além disso, as ferramentas BIM podem verificar as condições de acesso para futuras manutenções do edifício com a adoção da premissa de projeto chamada *Human Factor Engineering* (HFE), que leva em consideração a escala e medidas do ser humano para acessar áreas de instalações em condição ideal para realizar tarefas com condições mínimas de segurança (CBIC, 2016a).

Outra aplicação de BIM associada a edificações existentes é o *Heritage / Historic Building Information Modeling*, conhecido pela sigla HBIM. Canuto (2017, p. 58) cita que HBIM, segundo Murphy, McGovern e Pavia (2007), refere-se à um “modelo BIM desenvolvido, a partir de dados históricos, sistema de captura a *laser* em nuvem de pontos e dados de fotogrametria digital”. A mesma autora (p. 58) acrescenta que “os trabalhos sobre HBIM ilustram como bibliotecas de objetos paramétricos interativos podem ser desenvolvidas, para isso são consultados diferentes tipos de manuais arquitetônicos para obter informações sobre construção geométrica”. Desse modo, o BIM pode ser explorado na preservação do patrimônio conforme apontam diversas pesquisas (CANUTO; MOURA; SALGADO, 2016; CANUTO, 2017; CUNHA, 2016; BARAZZETTI et al., 2015). E, da mesma forma, também existem oportunidades de utilização dessa TIC no ensino de “história” que serão apresentadas no capítulo 5.

Em relação a **demolição**, é possível fazer simulação para prevenção de desastres como a simulação de terremoto em uma ponte e simulação de implosão do

edifício. Já na fase de **renovação**, com o levantamento de nuvens de pontos gerados por escaneamento a laser é possível fazer o levantamento de construções existentes, como prédios históricos, (BARAZZETTI et al., 2015) e, também, projetos de modificações ou ampliações (CBIC, 2016a). Outra possibilidade é analisar o comportamento de um edifício existente a partir da modificação de uso do espaço (BARAZZETTI et al., 2015) e usar técnica de captura do ambiente físico para “estudo de desvios ou para realização de simulações” (CBIC, 2016a, p. 39).

Vale destacar que o ciclo de vida da edificação apresentado na Figura 9 é didático e não determina que o fluxo de trabalho seja linear, pelo contrário, o fluxo não é linear. Pois ao trabalhar com a plataforma BIM, é possível desenvolver o projeto ao mesmo tempo que ocorre a análise de desempenho, a geração de documentação e a verificação do cronograma 4D e 5D. Ou seja, qualquer uma das fases pode estar sendo pensada durante o processo de projeto.

2.2.1.1 Interoperabilidade no desenvolvimento de projetos

Um dos conceitos importantes para se compreender o funcionamento do BIM é a interoperabilidade, que se refere a “necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o trabalho em questão”, “baseia-se tradicionalmente em intercâmbio de formatos de arquivos” (EASTMAN et al., 2014, p. 65). Nesse sentido, o conceito de BIM “pressupõe a existência de um conjunto de ferramentas integradas e complementares, capazes de realizar diversos tipos de operação sobre o modelo único da edificação” (FREIRE; TAHARA; AMORIM, 2012, p. 3414). Com isso, a interoperabilidade é necessária para permitir a troca de informações entre os projetistas.

A troca de informações entre *softwares* pode ser feita de duas formas: pela extensão proprietária ou pelo *open* BIM. A extensão proprietária ocorre quando um fabricante tem a propriedade de vários *softwares* e eles conversam através de uma extensão. Por exemplo, os *softwares* BIM da Autodesk abrem e exportam a extensão “.rvt” do Revit, e o mesmo ocorre com outros fornecedores que tentam fazer com que o usuário utilize os programas do mesmo fabricante para não ter perda de informação. Já o *open* BIM possui uma proposta de utilizar a extensão “.ifc” entre todos os *softwares* BIM, independente do fabricante. Isso permite o usuário utilizar as ferramentas que melhor se adaptam ao seu processo de projeto ou que julgue mais eficiente para determinada atividade.

Para garantir a interoperabilidade entre os *softwares*, principalmente com o uso do “.ifc”, a BuildingSMART faz a certificação de *softwares* BIM. A BuildingSMART foi

fundada em 1995 e é a autoridade mundial de criação e adoção de normas internacionais abertas e é uma organização neutra, aberta e internacional sem fins lucrativos que se destina a apoiar a adoção mais ampla de BIM, além de atender as demandas do ambiente construído no mundo digital (BUILDINGSMART, 2016a). De acordo com o site dessa autoridade, existem 206 *softwares* certificados divididos em diversas categorias como arquitetura, estrutura e gerenciamento da construção até o início de 2018 (BUILDINGSMART, 2016b).

Visto isto, abaixo são listados os principais *softwares* BIM para o Brasil e suas funções. Convém destacar que os *softwares* costumam ser atualizados com frequência e a cada ano surgem novos produtos. Portanto, o cenário apresentado abaixo refere-se a alguns dos principais *softwares* disponíveis no Brasil no primeiro quarto do ano de 2016 divulgado pela CBIC (2016b) e outros programas que estão sendo utilizados no mercado e foram pesquisados nos sites dos fabricantes.

Quadro 4 – Principais *softwares* BIM no Brasil

Legenda das atividades:

PRÉ-OBRA	1	Desenvolvimento de modelos e visualização	OBRA	8	Fabricação	PÓS-OBRA	13	Operação, gestão de ativos, gestão de manutenção
	2	Coordenação e verificação de códigos		9	Layout e verificação			
	3	Simulação		10	Execução no campo			
	4	Quantificação		11	Administração da construção			
	5	Orçamento		12	Comissionamento e entrega			
	6	Planejamento 4D						
	7	Detalhamento						

	Software	Atividades	Fase da edificação	Principais funções
Autodesk base em desktop	Revit	1, 2, 3, 4, 6, 7	Pré-obra	Desenvolve modelos de arquitetura, estrutura e sistemas prediais; faz levantamento de quantitativos, geração de tabelas, legendas, renderização e passeios interativos.
	Navisworks	1, 2, 3, 4, 12, 13	Pré-obra, Obra, Pós-obra	Visualização e revisão do modelo, checagem de interferências, simulação 4D da construção e do canteiro de obras, extrai quantitativos, simulação 5D e integração com BIM 360 Glue.
	Robot	3	Pré-obra	Análise e simulação de estruturas grandes e complexas.
	Simulation CFD	3	Pré-obra	Ferramentas de dinâmica de fluidos e de simulação térmica que ajuda a prever o desempenho do produto, otimizar projetos e validar o comportamento do produto antes da fabricação.
	Dynamo	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Pré-obra, Obra	Cria modelos através da programação virtual, explora conceitos paramétricos nos projetos, automatiza tarefas e produz análises preliminares.
Autodesk base em nuvem	A360	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	Pré-obra, Obra, Pós-obra	Armazena, visualiza e compartilha arquivos 2D e 3D em qualquer lugar e em qualquer dispositivo.
	Formit 360 Pro	1, 3	Pré-obra	Permite esboçar, colaborar, analisar e revisar os conceitos de projeto em uma fase inicial.
	Green Building Studio	3	Pré-obra	Baseado em nuvem, faz a análise global energética e de consumo de água e busca neutralizar a emissão de carbono.

Continua

Quadro 4 – Principais *softwares* BIM no Brasil (continuação)

	Software	Atividades	Fase da edificação	Principais funções
Nemetschek	Archicad	1, 4, 5, 7	Pré-obra	Desenvolve modelos de arquitetura, estrutura e sistemas prediais; faz levantamento de quantitativos, geração de tabelas, legendas, renderização e passeios interativos.
	Vectorworks	1, 4, 5, 7	Pré-obra	Desenvolve modelos de arquitetura e documentação.
	Solibri	2, 4	Pré-obra	Validação, análise e extração de informações de modelos BIM.
	AllPlan	1, 4, 7	Pré-obra	Modelagem 3D e detalhamento de estruturas de concreto
	BIMx	7	Pré-obra	Aplicativo para tablet e smartphone de visualização de projetos BIM em 2D e 3D.
	Bluebeam Revu	7	Pré-obra	Plataforma de colaboração que conecta parceiros de projetos em todo o mundo em tempo real no mesmo conjunto de documentos centralizados.
Trimble	Tekla Structures	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12	Pré-obra, Obra	Modelagem 3D, detalhamento, gerenciamento, fabricação e montagem de estruturas.
	MEP Designer for Sketchup	1, 2, 3, 4, 9	Pré-obra Obra	Cria modelos 3D e customiza componentes de elétrica.
	Sketchup	1, 9	Pré-obra, Obra	Modelagem 3D utilizada na fase de estudo conceitual, preliminar e volumétrico de projetos.
	Vico Software	2, 3, 4, 9	Pré-obra Obra	Gerenciamento, planejamento e controle de custos da obra, <i>software</i> 5D.
	Tekla BIMsight	2, 9	Pré-obra Obra	Combina diferentes modelos em um modelo único, verifique interferências, compartilhe informações usando o mesmo ambiente BIM e é gratuito.
	Trimble Connect	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	Pré-obra, Obra	<i>Software</i> em nuvem que compartilha informações e projetos de diversas áreas e feitos em diversos <i>softwares</i> .
Bentley	AECOSim Building Designer	1, 2	Pré-obra	Modelagem, documentação, visualização e análises de projeto arquitetônico, estruturais e MEP.
Outros	DProfiler	1	Pré-obra	Quando um modelo 3D é criado, o <i>software</i> fornece feedback instantâneo sobre dados como custo, energia, ciclo de vida, corte e preenchimento e programação. Os usuários podem avaliar trade-off entre disciplinas para encontrar a melhor solução global.
	TQS	4, 7	Pré-obra	Modelagem, análise estrutural, dimensionamento, detalhamento, desenho e documentação de estruturas reticulares em concreto armado, protendido, alvenaria estrutural e estruturas pré-moldadas.
	Synchro	6	Pré-obra	Planejamento BIM 4D, sequenciamento e interdependência de atividades, estudo de folgas e cálculo do caminho crítico, análise de riscos, associação de recursos para as atividades, animações comparação de planejamento X executado.
	Archibus	13	Pós-obra	Gestão imobiliária e gerenciamento de instalações e ativos, gestão de espaço, gerenciamento de mudanças, de portfólio imobiliário, de orçamentos e de projetos, gestão de riscos, manutenção predial, gerenciamento de ativos e gestão de serviços de suporte.

Fonte: Autor com base em CBIC (2016b), Autodesk (2017), Trimble (2017), Bluebeam (2018) e Bentley (2017)

Adicionalmente, Leal (2017) indica características dos cinco *softwares* de análise de desempenho energético e simulação certificados pela BuildingSMART, que são IDA

ICE, RIUSKA, Simergy, OpenStudio e IES-VE, e podem ser acrescentados ao quadro acima.

Pelo quadro apresentado, observa-se que existe uma grande quantidade de programas desenvolvidos para que a construção virtual do empreendimento atinja à todas as fases do ciclo de vida da edificação. Cabe frisar que a plataforma BIM não se refere a um tipo de *software* e sim a um novo processo de trabalho baseado em um modelo 3D parametrizado que contém informações geométricas e não geométricas da construção. E essas informações são inseridas e resgatadas ao longo do ciclo de vida da edificação.

O processo BIM tem como “premissa a colaboração contínua e concomitante de todas as disciplinas no desenvolvimento do projeto”. Os projetistas de encontram no início do processo de projeto, diferente do que ocorre no CAD, o que faz com que a compatibilização ocorra ao longo do processo. As trocas de informação serão muito mais frequentes e a relação entre projetistas fica mais próxima, mais intensa. O que é muito positivo para o projeto, porém exigindo mais transparência e comprometimento de todos os profissionais envolvidos (ASBEA, 2015).

O trabalho colaborativo é importante para a implementação da plataforma BIM e sobre isso, Checcucci e Amorim (2013, p. 215) falam que

a colaboração entre os membros da equipe que lidam com a edificação é fundamental para a modelagem BIM e sem ela dificilmente poderá ser desenvolvido um modelo que possa ser útil nas diversas fases do seu ciclo de vida. A colaboração é entendida como uma prática de duas ou mais pessoas trabalhando juntas e uma estrutura para a produção, compartilhamento e contestação do conhecimento. Martin et al. (2007, p. 222) chamam atenção que o termo colaboração normalmente é erroneamente utilizado como sinônimo de coordenação (um processo de organização de conjuntos de informações em um todo coeso), cooperação (uma atitude sobre relacionamentos), ou comunicação (um mecanismo para troca de conhecimento ou informação).

Eastman et al. (2014, p. 66) citam que “[...] arquitetura e construção são atividades colaborativas e as ferramentas que as apoiam também o são”. Lockley (2011 apud BARISON; SANTOS, 2011) confirma falando que BIM deve ser entendido como um processo que suporta o trabalho em colaboração. A Modelagem da Informação da Construção requer um projeto colaborativo e essa é uma das maiores contribuições dessa plataforma.

2.2.1.2 Adoção do BIM no Brasil

Em relação à adoção de BIM no cenário brasileiro, Castro et al. (2011, s.p.) afirmam que “nos últimos anos, o número de empresas e profissionais que têm investido no conhecimento e na implementação desta nova tecnologia vem crescendo,

principalmente entre escritórios de arquitetura e construtoras”. Assim, surge a questão do que é necessário para colocar em prática a plataforma BIM e, de acordo com o mesmo autor, a implantação da metodologia começa com uma profunda mudança cultural. Arquitetos e engenheiros precisam repensar o processo de concepção e execução do projeto contemplando todo seu ciclo de vida, adicionalmente, é fundamental incluir a participação de clientes e estimular a integração entre projeto de arquitetura e de engenharia.

O processo de inserção do BIM está lento tal qual aconteceu no passado em relação ao CAD (Figura 12). Em uma comparação do Brasil com o exterior, “enquanto os países desenvolvidos começaram a implementar a cultura do CAD na década de 1970, no Brasil, salvo raras exceções, ela só teve início nos anos de 1990, tanto no que se refere à prática da arquitetura quanto ao seu ensino (com a portaria 1770 do MEC, de 1994)” (CASTRO et al., 2011, s.p.). Conforme ocorreu com o CAD, o Brasil está atrasado na implementação do BIM devido à falta de conhecimento da plataforma e de suas vantagens pela maior parte dos profissionais.

Figura 12 - Início das implementações CAD e BIM no Brasil e no exterior



Fonte: Menezes (2011)

Paralelamente, após 2008 houve um aumento significativo de publicações acadêmicas brasileiras (teses, dissertações e artigos) e publicações técnicas, em revistas, sobre o BIM (KASSEM; AMORIM, 2015). Observe os Gráfico 1 e 2. Da mesma forma, Machado, Ruschel, Scheer (2016) apontam um aumento de publicações em anais de evento brasileiros a partir de 2007 e um crescimento considerável de publicações em periódicos eletrônicos a partir de 2013, apesar de surgir publicações sobre BIM em periódicos a partir de 2005. Contudo, Kassem e Amorim (2015, p. 152) indicam que “o ensino de BIM na educação superior ainda é limitado” e “a pesquisa BIM é considerada muito ativa”.

Gráfico 1 - Teses, dissertações e artigos sobre temática BIM

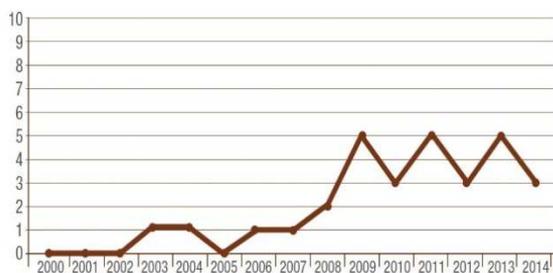
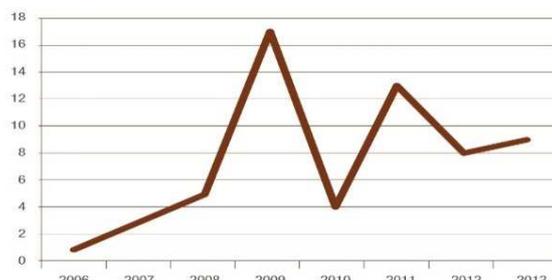


Gráfico 2 - Publicações técnicas na temática BIM



Fonte: Adaptado de Kassem e Amorim (2015, p.24-25)

O BIM tem potencial para ser implementado ao longo de todo o curso e não apenas em disciplinas específicas (RUSCHEL; ANDRADE; MORAIS, 2013; SANTOS; BARISON, 2011; BARISON; SANTOS, 2011; CHECCUCCI; AMORIM, 2014), porque ele não é uma ferramenta e sim um modo de trabalho (EASTMAN et al., 2014). Isto posto, a plataforma passa a ser visto como “um meio pelo qual as diferentes disciplinas do projeto podem se comunicar”, ou seja, a modelagem da informação da construção estabelece uma conexão entre todas as áreas do currículo (MOLINA; JUNIOR, 2015, s.p.).

Por ser uma nova abordagem de ensino, as experiências didáticas de inserção do BIM são relativamente novas (BARISON; SANTOS, 2011), com isso cada universidade está utilizando um método, que melhor se adapta aos seus princípios de aprendizagem e aos recursos disponíveis. As instituições acadêmicas estão adotando basicamente dois tipos de estratégias: ensinar uma ou duas disciplinas específicas sobre o tema, sendo uma matéria no início do curso e outra no final, ou utilizar o BIM em várias disciplinas existentes como recurso didático para ensinar outros conteúdos ao longo do currículo (CHECCUCCI; AMORIM, 2014; BARISON; SANTOS, 2011). A primeira forma de ensino representa, dentre outros fatores, aumento da carga horária do curso e tratamento introdutório do BIM, uma vez que ensinar duas matérias durante uma formação de quatro ou cinco anos significa uma abordagem superficial. A segunda forma de inserção será desenvolvida durante a formação do aluno, que fará conexão do BIM com diferentes assuntos por toda a grade curricular.

Já essa dissertação almeja apresentar alternativas para que as TICs se encaixem no dia a dia da sala de aula e não se torne um assunto a parte. Visto isso, as seções a seguir tratarão de outras TICs que podem ajudar a alcançar os objetivos da pesquisa.

3.2.2 Realidade Aumentada (RA)

Outra tecnologia que possui um vasto campo a ser explorado é a Realidade Aumentada (RA). Segundo Cuperschmid (2016), RA é a sobreposição de imagens ou informações virtuais no mundo real por meio de um dispositivo com câmera, por exemplo, um celular. Kirner e Tori (2004 apud BRAGA et al., 2012, p. 139) argumentam que

a Realidade Virtual e a Realidade Virtual e Aumentada são tecnologias que vem ganhando uma grande visibilidade nos últimos anos, devido ao aumento significativo na capacidade de processamento dos microcomputadores, pelo barateamento dos equipamentos exigidos para manipulação desta tecnologia e por oferecerem um ambiente extremamente interativo, facilitando assim a relação do homem com a máquina.

A interação no ambiente de Realidade Aumentada (RA), se dá “em um ambiente real com a adição de dados virtuais, gerando uma visão composta em tempo real. A composição é uma combinação de uma cena real vista pelo usuário e uma cena virtual gerada por um sistema computacional” (CUPERSCHMID, 2016, p. 168). A mesma autora cita que a área de pesquisa que mais cresce em RA é a que envolve a utilização de dispositivos móveis devido ao surgimento dos *smartphones* e *tablets*.

Alguns dos *softwares* para desenvolvimento de RA são Processing, AMIRE, APRIL, ARStudio, ARTag, ARTHUR, ARTHoolkit, BuildAR, CATOMIRE, DART, D'Fusion, DWARF, FLARToolKit, NyARToolkit, FlarManager, I4D, jARToolkit, Phidget Toolkit, Unifeye SDK, Tinmith, Metaio Creator 6, Junaio e SACRA. Alguns deles são distribuídos livremente e possuem bibliotecas gratuitas na internet (ISHIDA et al., 2015; CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011; MOREIRA, RUSCHEL, 2015). O formato de arquivo que é produzido por esses programas é o VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), um arquivo em texto capaz de criar malhas poligonais (objetos) com cor, transparência, brilho e textura (ISHIDA et al., 2015).

Uma das maneiras de visualizar a RA criada é por meio do computador com *webcam* ou por um aplicativo instalado no *tablet* ou *smartphone*. Com relação a este último, Cuperschmid e Freitas (2013) traçaram características entre alguns aplicativos de RA disponíveis para *download*, entre os aplicativos citados estão: Layar, Junaio, Wikitude, AR Media e Augment.

Embora tenha sido estudada há mais de 40 anos, apenas recentemente as aplicações de RA estão sendo verificadas e essa tecnologia conecta “computação gráfica, interfaces com os usuários, fatores humanos, computação móvel, visualização da informação e o projeto de sensores e artefatos para visualização” (FJELD, 2004 apud CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011). A proposta dessa TIC, segundo Azuma

(2011 apud ISHIDA et al., 2015, s.p.), é que as “informações adicionadas pelos objetos virtuais ajudem no trabalho real dos usuários”.

Existem duas vertentes sobre o método de calcular onde o objeto virtual será adicionado, uma é por meio de marcadores, como *QR Codes*, e outra é por meio de GPS e sensores de orientação, normalmente usados em dispositivos móveis, como o *smartphone* (CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011).

RA possui aplicações em diversas áreas como auxiliar uma cirurgia com a projeção de imagens internas do paciente, simuladores militares, criação de produtos, auxílio na manutenção de um objeto e diversão (ISHIDA et al., 2015), como é o caso do aplicativo Pokémon GO. Sobre a utilização na construção civil, Assis, Brochardt e Andrade (2016) exemplificam um dos usos da RA como a utilização de um *QR Code* para visualizar instalações dentro de paredes e lajes de uma construção.

Na arquitetura, Amim (2007) fala que RA pode ajudar na “concepção das formas arquitetônicas, na simulação e análise de questões energética das edificações, na fabricação de componentes estruturais ou na própria construção, no canteiro de obras”. Para Aguiar (2012 apud MOREIRA; RUSCHEL, 2015) uma das aplicações de RA na arquitetura é a possibilidade de “visualização e comercialização do produto final gerado”, além de visualizar elementos construtivos, sinalizar ambientes e inserir informações nas áreas de AEC (MOREIRA; RUSCHEL, 2015).

A realidade aumentada pode ser usada para estimular a colaboração a partir da interação de usuários com um edifício virtual que está ligado a um objeto físico, possibilitando a escolha da melhor implantação; dessa forma, a RA estimula a discussão com apoio de uma visualização, além de facilitar o entendimento do projeto ou objeto mostrado (CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011). Nessa linha de raciocínio, um experimento realizado por Moreira e Ruschel (2015) demonstra a possibilidade de visualização de soluções projetuais em arquitetura por meio da RA em dispositivos móveis e em projetor multimídia, sendo a opção do projetor a que possibilita maior interação dos participantes na tomada de decisão. Esse tipo de visualização tanto pode ser usado para a prática profissional como para o meio acadêmico.

Contudo, Hölh (2009 apud MOREIRA; RUSCHEL, 2015) aponta que a RA em arquitetura lida, principalmente, com cinco problemas:

- (1) usabilidade sem habilidades de programação;
- (2) processamento em tempo real de grandes quantidades de dados;
- (3) sistemas de rastreamento satisfatórios para visualização in loco;
- (4) aceitação do uso de *Head Mounted Displays*⁷ pelos usuários;
- (5) sombras em tempo real e oclusão do ambiente.

⁷ Head Mounted Displays ou “videocapacete é um dispositivo de saída de dados que consiste em duas telas [...] e também funciona como um dispositivo de entrada de dados quando possui sensores que captam o movimento e posição do usuário” (STANGE, 2012, p. 39).

Apesar dos problemas, diversos autores compartilham as oportunidades trazidas com essa tecnologia. Um estudo realizado por Ishida et al. (2015, s.p.) buscou utilizar “as potencialidades da realidade aumentada com os recursos oferecidos pelos conceitos BIM”, para isso, os autores criaram um modelo BIM de habitação unifamiliar com informações de pisos, paredes, portas, janelas, pilares e telhados. Em seguida, fizeram a conversão para o formato VRML de duas maneiras: (a) conversão do arquivo em IFC, importação do IFC no *software* ‘Nemetschek IfcViewer’ e conversão para VRML; e (b) exportação do arquivo original para 3D Studio e conversão em VRML. Na opção (a) houve perda total das texturas inseridas no *software* BIM e no (b) apenas as texturas e elementos geométricos foram preservados. Como conclusão, os autores destacam que há poucas bibliotecas de RA, tanto de código aberto como de código fechado, observaram praticidade para compreender e visualizar o projeto, porém existe pouca flexibilidade e qualidade de exibição. E acrescentam que no ensino, RA “despertará paixão pelo projeto por trabalhar a ludicidade do mundo real no campo do virtual”.

Em relação ao ensino, Braga et al. (2012, p. 139) destacam que apesar de existir esforços para aplicar Realidade Virtual Aumentada no ensino, a maioria das aplicações “tendem a serem meramente versões virtuais de materiais reais, sem a preocupação de utilizar o potencial educacional da ferramenta na aprendizagem ou mesmo em como estes materiais serão integrados ao ambiente educacional”. E acrescenta que “há um desafio em produzir materiais instrucionais, que permitam aos professores explorarem as potencialidades dos ferramentais disponíveis e assim fazerem um bom uso dessa tecnologia no processo de ensino e aprendizagem”. Nesse sentido, essa pesquisa visa mostrar aos professores as possibilidades oferecidas pelas TICs nas diversas áreas do saber de arquitetura e urbanismo.

3.2.3 Realidade Virtual (RV)

A Realidade Virtual (RV) é uma Tecnologia de Informação e Comunicação que vem ganhando destaque. De acordo com Cuperschmid (2016) e Paraizo (2016), RV trata da imersão no mundo completamente virtual através de óculos, capacete, luvas de dados, entre outros (CUPERSCHMID, 2016; PARAIZO, 2016). Aukstakaluis e Blatner (1992 apud AMIM, 2007) dizem que existem três pontos chave na definição de RV: “um ambiente computacional, interativo, tridimensional, onde a pessoa está imersa”. Para definir Realidade Virtual, Paraizo (2016, p. 170) usa a definição presente no *Oxford Advanced Learner's Dictionary*: “imagens criadas por computador que aparenta rodear a pessoa que as vê e parecem quase reais” e acrescenta que RV é, em essência, uma experiência imersiva.

Há controvérsias em relação ao surgimento da realidade virtual. Grilo et al. (2001) e Weiss (1996 apud REBELO, 1999) acreditam que o termo realidade virtual foi utilizado pela primeira vez em 1989 por Jaron Lanier quando desenvolveu a Luva de RV (*Data Glove*) em conjunto com Thomas Zimmermann. Contudo, Luz (1997 apud REBELO, 1999) considera que RV surgiu em 1965 com a publicação do artigo ‘*The Ultimate Display*’ de Ivan E. Sutherland quando criou o capacete de RV.

Segundo Grilo et al. (2001, s.p.), a RV pode ser imersiva ou não-imersiva. A primeira refere-se à integração do usuário com o ambiente virtual possibilitando experimentação total do ambiente virtual inclusive realizar teste com calor, frio, toque e deslocamento. Já a segunda é utilizada em “jogos e na manipulação de maquetes eletrônicas via internet, têm como vantagem o baixo custo do equipamento e a facilidade de acesso em qualquer tipo de computador”.

Para alguns autores (LUZ, 1997; WEISS, 1996 apud REBELO, 1999) a experiência imersiva apenas é válida se provocar estímulos alusivos à interação, imaginação e imersão, e se esses estímulos atingirem as características apontadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estímulos requeridos ao experienciar aplicações de RV.

Interação	Imaginação	Imersão
Proporciona uma interação completa com o ambiente, com os objetos e com outras pessoas. Exemplo: Abrir uma porta ou saudar uma pessoa dentro de um ambiente tridimensional.	Os sentidos são estimulados a tal ponto que a aplicação parece ser real. Exemplo: sentir que está realmente pilotando um avião ou passeando por uma igreja antiga, mesmo através de um monitor de computador.	A pessoa sente-se como parte integrante do ambiente digital proposta para a interação. Exemplo: Perceber que ao virar a cabeça a imagem que aparece no display do capacete de RV acompanha o usuário permitindo uma visão 360° do ambiente modelado.

Fonte: Rebelo (1999, p. 25)

Entre os equipamentos utilizados no desenvolvimento de aplicativos de RV estão o *mouse*, teclado, luvas, *joysticks*, capacetes de vários tipos, *CAVE*, óculos estereoscópico, monitores, *sketchpad* e dispositivo háptico ou sinestésico (REBELO, 1999). De acordo com Cruz-Neira (1997 apud FREITAS; RUSCHEL, 2010, p. 128), esses equipamentos são agrupados nas seguintes categorias: “equipamentos visuais, sistemas de rastreamento, dispositivos de entrada, sistemas de som, dispositivos hápticos, hardware de computação e gráficos”. Para Grilo et al. (2011, s.p.), os equipamentos mínimos para o uso de realidade virtual são compostos por

(1) computador potente (PC ou *workstation*); (2) dispositivos visuais, inicialmente incorporados em capacetes (*Head Mounted Displays*) ou em telas planas, múltiplas ou dispostas em ângulos; (3) Mecanismo de reconhecimento táctil e tecnologias de luvas; (4) dispositivos auditivos, inicialmente incorporados em capacetes.

O ambiente tridimensional observado em aplicativos de RV pode ser desenvolvido em programas 3D normalmente utilizados em arquitetura como SketchUp, Blender, 3DSmax, Archicad e Revit. E, depois, esse modelo tridimensional pode ser transferido para programas utilizados na criação de *games*, como o Unity 3D. Assim, o uso de RV na arquitetura se torna mais acessível (CANUTO; MOURA; SALGADO, 2017).

Uma das primeiras aplicações de RV foi feita pelo governo americano ao criar simuladores de voo para treinar soldados da força aérea (REBELO, 1999). O mesmo autor acrescenta que a partir disso outras pesquisas propuseram aplicativos de simulação para áreas distintas, inclusive treinamento de funcionários em situações virtuais semelhantes à vida real.

Canuto, Moura e Salgado (2017) comentam que as experiências imersivas estão se popularizando graças ao surgimento de plataformas com custo acessível como os óculos de realidade virtual conectados a computadores ou ao celular. Um exemplo é o Google *Cardboard*, o Samsung GearVR e o Oculus Rift.

Um dos pontos-chave da RV é o realismo proporcionado pela tridimensionalidade, representação da arquitetura em escala e simulação de texturas e iluminação. Somando o realismo à possibilidade de realizar percursos interativos, o usuário compreende melhor o projeto se comparado às representações 2D ou modelos 3D, além de facilitar a visualização e análise diferentes alternativas durante a concepção (GRILO et al., 2001).

Pesquisas apontam que a realidade virtual pode ser utilizada como ferramenta de ensino e treinamento (STANGE, 2012; GRILO, 2001; REBELO, 1999). Pensando da mesma forma, Gómez e Trefftz (2011 apud STANGE, 2012) relatam que essa tecnologia é uma ferramenta poderosa no processo de ensino-aprendizagem e seu poder ser ampliado com o uso de RV imersiva como a *CAVE* ou *cab simulator*.

Sobre isso, Pantelidis (1998 apud STANGE, 2012, p. 59-60) sugere situações propícias para utilizar a RV em treinamento ou educação, como quando existe “inconveniência de ensinar ou treinar no mundo real”, quando “um modelo irá treinar ou ensinar com a mesma eficiência quando se dispõe de uma aprendizagem no mundo real”, quando a interatividade “pode ser considerada motivadora tanto quanto a interação com algo real ou ainda promover maior motivação quando se usam técnicas de *games*, por exemplo”, e para “vencer algumas barreiras como introspecção para que se consiga atingir a aprendizagem em grupo”.

Essa TIC também traz possibilidades para o ensino de arquitetura e urbanismo, para a “análise de projeto, projetos colaborativos, análise estrutural, desenho urbano”, entre outros (GRILO et al., 2001, s.p.). Os autores complementam que também é uma ferramenta para a percepção, avaliação e apreciação de projetos arquitetônicos antes

de sua construção física. Os mesmos autores argumentam que o fato de ambientes virtuais serem semelhantes à ambientes reais propicia a “exploração, a descoberta e a observação do problema ou objeto de estudo” e, com isso, contribui para a construção de “modelos mentais de conhecimento”. Assim, Pantelidis (1995 apud GRILLO et al., 2001) aponta vantagens ao utilizar ambientes virtuais no ensino como:

(a) amplia a motivação do estudante; (b) possibilita ilustrar mais precisamente algumas características, processos, etc.; (c) permite a observação do objeto ou ambiente virtual de pequenas ou grandes distâncias; (d) fornece a oportunidade para melhor compreensão do objeto de estudo; (e) permite que o aluno proceda através da experiência no seu próprio ritmo; (f) não restringe o prosseguimento das experiências ao período de aula regular; (g) oferece a possibilidade de aprendizado de novas tecnologias; (h) requer interação, ou seja, encoraja a participação ativa em vez de passiva.

Visto isso, a próxima seção trata sobre outras Tecnologia de Informação e Comunicação, que são a prototipagem rápida e fabricação digital.

3.2.4 Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD)

Outras TICs que estão sendo exploradas nos campos da arquitetura e construção civil são a Prototipagem Rápida (PR) e a Fabricação Digital (FD). Pupo (2016, p. 98) comenta que “a introdução de tecnologias digitais para a produção de modelos, maquetes, protótipos ou elementos construtivos na área de pesquisa, ensino e prática da arquitetura é, hoje, uma realidade”. Da mesma forma, Celani et al. (2017, p. 30) relatam que fabricação digital “passou por um forte processo de popularização nos últimos 20 anos”. Nesse sentido, a PR e FD estão sendo muito discutidas em diversas áreas, inclusive na arquitetura e urbanismo, e muitas vezes são ditas como sinônimos. Apesar de serem similares, possuem aplicações diferentes.

A fabricação digital se refere a transferência de dados de um modelo digital para uma máquina de controle numérico (CNC) para produção de elementos em escala real, como fôrmas para concretagem. Adicionalmente, com o desenvolvimento da informática, a produção em série do fordismo migrou para a personalização em série possibilitada pela fabricação digital, que permite resultados variáveis e não repetitivos, uma vez que os projetos são criados e produzidos digitalmente, processo chamado *file-to-factory* (do arquivo para a fábrica) (PUPO, 2016).

Ao falar de fabricação digital é importante citar o *Fabrication Laboratory* (Fab Lab), “laboratório de fabricação digital afiliado a uma rede mundial originada no Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT/EUA)”, que se é compreendido como o modo de expressão do ‘movimento *maker*’, que transfere para os usuários o processo de fabricação transmitindo o pensamento de “faça você mesmo” (QUINTELLA et al., s.d.). Celani et al. (2017) destacam que o barateamento dos equipamentos de FD incentivou

as escolas de arquitetura, inclusive escolas brasileiras, a comprarem máquinas de controle numérico.

Já a prototipagem rápida, segundo Moeskopf e Feenstra (2008 apud ANDRADE, 2016, p. 164), corresponde a uma “tecnologia utilizada para produzir objetos físicos pela adição de camadas, a partir de dados computacionais em 3D, oriundos de um sistema CAD (*Computer-Aided Design*)”. Savignon, Salgado e Lassance (2012) citam que além do processo de adição, os protótipos também podem ser obtidos pela planificação - peças bidimensionais são cortadas a laser e montadas - e pela impressão 3D por escultura ou subtrativo, quando uma peça maciça é desbastada até chegar a forma final.

Além dos sistemas CAD específicos, Pupo (2009, p. 193) menciona que existem três maneiras de gerar modelos 3D para serem utilizados em máquinas CNC, são eles:

- (1) por métodos paramétricos em que *scripts* são executados por programação em diversas linguagens e podem ser manipuladas em sistemas CAD tradicionais;
- (2) por meio de digitalização, fotos ou desenhos de edifícios podem ser transformados em modelos digitais por meio de uso de programas específicos, como é o caso do PhotoModeller;
- (3) ainda na digitalização, as maquetes modeladas ou executadas a mão (ou mesmo as que já foram prototipadas) podem ser digitalizadas tridimensionalmente para a obtenção de modelos geométricos digitais.

Com relação a escolha entre prototipagem rápida ou outro protótipo arquitetônico digital ou analógico, a seleção dependerá do perfil do projeto, da intenção do projetista, do custo, precisão, tempo e qualidade do modelo. Quando comparado os dois métodos, a PR “permite maior precisão, repetitividade, maior nível de detalhe e redução significativa de tempo para produção dos modelos” (ANDRADE, 2016).

Em relação as vantagens da PR, Celani e Bertho (2007, s.p.) citam a “alta precisão, inclusive em detalhamentos de pequena escala, produção ilimitada de peças iguais em formato e tamanho, produção de curvas planas [...], diminuição do trabalho com acabamento e economia de tempo em relação às produções manuais”. Já Shimomura, Frota e Celani (2010, s.p.) acrescentam a essa lista a “possibilidade de produção de formas livres e complexas” sem necessidade do usuário “possuir qualquer tipo de habilidade manual”⁸, bem como rapidez na execução quando comparado ao método tradicional.

Andrade (2016) comenta que para eFundu (s.d.), o processo de produção de protótipos, independentemente dos materiais e tecnologias utilizadas, segue quatro etapas: (a) produção do modelo digital (CAD); (b) conversão do formato CAD para STL;

⁸ Vale alertar para os riscos decorrentes de edifícios com tal diversidade e “riqueza” de formas que, na medida em que são disseminadas no mundo real, podem contribuir para a produção de cidades e ambientes desconexos.

(c) o arquivo STL fatia o modelo até a conclusão; (d) os suportes do modelo são removidos e a superfície é limpa.

Na arquitetura, a PR pode ser usada em diferentes estágios do processo de projeto. Na etapa conceitual, Andrade (2016) cita que pode ser usada para compreender a relação do edifício com o entorno, testar um detalhe construtivo, visualizar com mais clareza as intenções projetuais e, também, permite o estudo de formas complexas geradas pelo computador. Ainda nessa etapa, Savignon, Salgado e Lassance (2012) falam da possibilidade de criação de propostas inovadoras respaldadas por testes e simulações no protótipo que garantem a construtibilidade do produto final. Apesar das vantagens observadas pelo uso da PR desde o início do processo de projeto, que é muito utilizado em escritórios de arquitetura americanos e europeus, a prototipagem raramente aparece nos escritórios brasileiros no início do processo e quando surge são utilizadas apenas para apresentações finais (SAVIGNON; SALGADO; LASSANCE, 2012; CELANI; BERTHO, 2007).

Os mesmos autores tratam a prototipagem como um recurso de substituição de vários documentos impressos e de apoio ao processo de projeto, uma vez que transmitem a complexidade construtiva das soluções de projeto e propicia uma experiência tridimensional concreta, rica em informações. Para isso, eles argumentam que os elementos construtivos são tridimensionais, enquanto as informações projetuais, mesmo que em 3D, muitas vezes não transmitem exatamente o detalhe pretendido. Complementarmente, citam que a relevância do protótipo está em proporcionar uma maneira de aproximar o arquiteto do produto final e, desse modo, permitir aprofundamento no estudo das formas e controle dos problemas de execução, resultando em maior confiabilidade nas soluções adotadas. Assim, para esses autores, a incorporação de PR nas etapas do processo de projeto é uma “das mais poderosas ferramentas para melhoria da qualidade da edificação.

Em relação ao meio acadêmico, a inserção de laboratório de fabricação digital (Fab Lab) nas universidades, como é o caso de algumas no Brasil, pode agregar múltiplos campos do conhecimento (arquitetura, design, engenharia, medicina, odontologia, biologia, música, etc.) que envolvam qualquer tipo de produto físico a ser criado, materializado e testado, estimulando a colaboração, fluidez de informação e criação entre diversas disciplinas. Os docentes podem desenvolver trabalhos práticos utilizando as metodologias *learning by doing* (aprender fazendo) e *peer learning* (aprendizagem entre pares) e as trocas de conhecimentos são transmitidos por *workshops* ou troca horizontal de experiências (QUINTELLA et al., s.d.).

Pupo (2009) destaca que a partir do ano de 2000 houve emprego de técnicas de prototipagem rápida nos cursos de arquitetura e urbanismo, proporcionando um

aumento de arquitetos recém-formados a explorarem novos usos para essa TIC. A mesma autora acrescenta que a tecnologia BIM é perfeitamente adaptável “à integração com as tecnologias de prototipagem e fabricação digitais como apoio ao ensino de arquitetura.”

3.3 Considerações sobre o capítulo

Esse capítulo tratou da evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação ao longo da história da humanidade e sua repercussão na vida cotidiana e na construção civil. Foi visto que a cada novo ciclo da revolução industrial, o mercado de trabalho se adequa às novas tecnologias ocasionando a demanda de novas funções como é o caso do especialista em BIM e do tecnólogo em projeção digital. Percebe-se que a presença da tecnologia é irreversível e que com o desenvolvimento, principalmente, da internet a informação está em todas as partes, seja na rua, em casa ou na escola.

As TICs - BIM, RA, RV, PR e FD - que atuam no campo da arquitetura e urbanismo podem trabalhar de forma independente ou em conjunto. E a associação das cinco TICs podem trazer contribuições para o ensino de arquitetura e urbanismo, além de antecipar possíveis futuras experiências profissionais.

Neste contexto, ao destacar algumas tecnologias emergentes cada vez mais presentes na vida profissional e acadêmica, fica evidente a necessidade de orientação dos docentes na escolha dos recursos tecnológicos, a fim de auxiliá-los na exploração das potencialidades proporcionadas pelas tecnologias no ensino de arquitetura. Com isso, o capítulo seguinte tratará de possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais nos diversos campos do saber da arquitetura e urbanismo.

USO DE TICS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo inicia apresentando o método de seleção de textos da Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Em seguida, as seções 4.1 a 4.5 utilizam como base as categorias das áreas do saber das Diretrizes Curriculares, classificadas na subseção 2.2.2, e as TICs apontadas no capítulo 3 para buscar a relação das tecnologias digitais com o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Desse modo, de acordo com o universo pesquisado, são apresentadas alternativas já exploradas por professores em sala de aula na implementação de BIM, RA, RV, PR e FD no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

As seções 4.1 a 4.5 equivalem às categorias dos conteúdos de arquitetura e urbanismo definidas na seção 2.2.2: “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”. Vale salientar que o ensino dos conteúdos de cada categoria pode estar presente em qualquer disciplina do curso e não exclusivamente na disciplina que se destina ao ensino deste assunto. Por exemplo, serão apresentadas experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “conforto ambiental” não só em disciplinas de conforto ambiental, mas também em disciplinas de projeto ou qualquer outra disciplina que aborde sobre os conteúdos de “conforto”, mesmo que não seja o foco da disciplina. Ou seja, o estudo por experiências didáticas não se limita a uma disciplina específica, uma vez que busca os conteúdos/assuntos tratados em uma determinada categoria.

Para cada experiência de uso de TIC apresentada ao longo do texto (seções 4.1 a 4.5) foi atribuída um modo de utilizar a tecnologia, que foi chamado nessa pesquisa de ‘**recurso tecnológico**’. Certos recursos tecnológicos apresentam diferentes maneiras de serem explorados, que foram denominados nesse estudo como ‘**alternativas**’. Então, por exemplo, a TIC RA pode ser utilizada de diferentes formas no ensino de arquitetura e urbanismo por meio dos seguintes recursos tecnológicos: relacionar o real com o virtual, manipulação do modelo virtual, entre outros. Uma das ‘alternativas’ do recurso ‘relacionar o real com o virtual’ trata-se de utilizar esse recurso por meio de marcador, GPS ou sem marcador.

O método de seleção de artigos adotado nesse capítulo tem como base a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) que, segundo Kitchenham (2007, p. vi, tradução nossa), consiste em

uma forma de estudo secundário que utiliza uma metodologia bem definida para identificar, analisar e interpretar todas as evidências disponíveis relacionadas a uma questão de pesquisa específica de forma imparcial e (até certo ponto) replicável.

Copper (2007 apud Cooper, Hedges e Valentine (2009) apresenta um modelo de seis estágios para conduzir uma pesquisa sistemática. Essa dissertação seguiu esses estágios, que são: (a) definir o problema; (b) coletar a evidência de pesquisa; (c) identificar e aplicar critérios para extrair informações que ajudem a responder à questão da pesquisa; (d) analisar a evidência de estudos individuais; (e) interpretar a evidência cumulativa; (f) apresentar os métodos e resultados da síntese aos leitores.

Com base nisso, a RSL utiliza como recorte amostral artigos de periódicos, congressos, teses e dissertações publicados nos últimos dez anos (2007 a 2017), que relatam sobre experiências didáticas que incorporaram TICs (BIM, RA, RV, PR e FD) no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

As fontes de busca utilizadas foram aquelas que tradicionalmente trazem resultados de pesquisa na área explorada e que são de relevância para o campo da Arquitetura e Urbanismo. Desse modo, as fontes consultadas foram:

- Periódicos nacionais: (1) Ambiente Construído;
(2) PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção;
(3) Gestão & Tecnologia de Projetos;
- (4) Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do IBICT;
- Congressos nacionais: (5) TIC - 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017;
(6) GRAPHICA - 2007, 2009, 2011, 2013, 2015 e 2017;
(7) ENTAC - 2008, 2010, 2012, 2014, 2016;
(8) SBQP - 2009, 2011, 2013, 2015 e 2017;
- Congressos e periódicos internacionais: (9) CumInCAD.

O CumInCAD foi escolhido por ser uma base de dados que reuni publicações de diferentes partes do mundo sobre desenho arquitetônico assistido por computador. O CumInCAD abrange eventos anuais como ACADIA (*Association for Computer Aided Design in Architecture*), CAADRIA (*Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*), eCAADe (*Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe*), SIGraDi (*Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*), ASCAAD (*Arab Society for Computer-Aided Architectural Design*), CAAD futures (*Computer-Aided Architectural Design Futures*) e outros.

As palavras-chave utilizadas na busca foram termos genéricos das TICs pesquisadas nessa dissertação nos idiomas português e inglês, são elas: BIM, *Building Information Modeling*, realidade aumentada, *augmented reality*, realidade virtual, *virtual reality*, prototipagem rápida, *rapid prototyping*, fabricação digital, *digital manufacturing*.

As palavras utilizadas na base de dados CumInCAD não puderam ser tão genéricas devido ao elevado número de artigos encontrados nos resultados de busca.

Sendo assim, primeiramente foram utilizadas as palavras-chave descritas acima. Para aquelas palavras que tiveram um número elevado de publicações optou-se por acrescentar aspas e, caso o resultado continuasse elevado, a palavra 'arquitetura' foi adicionada a busca com símbolo booleano '+'. Dessa forma, os termos utilizados na busca do CumInCAD foram: +BIM +arquitetura; +"Building information Modeling" +architecture; realidade aumentada; +"augmented reality" +architecture; "realidade virtual"; +"virtual reality" +architecture; prototipagem rápida; +"rapid prototyping" +architecture; "fabricação digital"; +"digital manufacturing" +architecture.

Foram definidos os seguintes critérios de inclusão de dados:

- (a) trabalhos publicados no período de 2007 a 2017;
- (b) necessário tratar de uma experiência didática de uma ou mais TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo;
- (c) a publicação deve abordar sobre ensino e pelo menos uma das TICs (BIM, RA, RV, PR ou FD);
- (d) as publicações devem estar disponíveis para consulta em meio eletrônico;
- (e) publicações que o professor usa TIC em sala de aula;
- (f) publicações que o aluno usa TIC em sala de aula desde que o propósito do uso da ferramenta seja para ensinar conteúdos de arquitetura e não ensinar a manipular um *software*.

Com relação ao critério de exclusão, foram desconsiderados os textos que usam TIC para experimentação da tecnologia e não como um meio de ensino de um conteúdo de arquitetura.

Levando em consideração o critério (d) de inclusão, os artigos do congresso GRAPHICA 2009 não estavam disponíveis para consulta, uma vez que o site do evento estava fora do ar. Seis artigos do TIC 2011 e dois artigos do TIC 2013 que possuíam títulos relacionados à dissertação também não estavam disponíveis em meio eletrônico. Os anais do congresso TIC 2017, chamado SBTIC + SIBRAGEC 2017, que ocorreu entre os dias 6 e 10 de novembro de 2017, também não estavam disponíveis até janeiro de 2018, quando foi finalizada essa etapa da pesquisa. Com isso, os trabalhos e anais citados não foram considerados no estudo.

O processo de seleção de artigos contou com sete etapas, são elas:

1ª etapa: Busca por cada palavra-chave nas bases de dados digitais selecionadas;

2ª etapa: Seleção de textos por títulos que remetem ao ensino;

- 3ª etapa:** Leitura dos resumos e palavras-chave. As publicações que não se relacionavam à pesquisa foram desconsideradas e as que se encaixavam passaram para a próxima etapa;
- 4ª etapa:** Leitura dinâmica do texto. Essa etapa também desconsiderou as publicações que fugiram do tema da pesquisa;
- 5ª etapa:** Os textos foram classificados em uma das cinco categorias definidas nessa dissertação: “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”;
- 6ª etapa:** Leitura completa dos textos por categoria e verificação mais precisa se o conteúdo atende aos critérios da pesquisa;
- 7ª etapa:** Análise dos textos por categoria e extração de informações. Os dados extraídos foram: autor, ano de publicação, universidade, país, TIC utilizada, ferramenta utilizada e conteúdo ensinado.

A seguir, o Quadro 5 apresenta a quantidade de textos analisados em cada etapa do processo de seleção de artigos considerando os critérios de inclusão e exclusão apresentados.

Quadro 5 - Recorte amostral da pesquisa de acordo com o processo de seleção estabelecido.

Base de dados digitais	Quantidade de artigos ao longo da seleção por etapas						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
Ambiente Construído	37	11	4	2	Idem 4ª etapa	Idem 4ª etapa	1
PARC	64	11	6	4			3
Gestão & Tecnologia de Projetos	123	16	3	2			1
BDTD do IBICT	942	43	9	7			4
TIC	345	22	4	1			1
GRAPHICA	514	37	9	6			5
ENTAC	2.759	22	10	5			4
SBQP	305	7	2	1			1
CumInCAD	395	101	48	33			16
TOTAL	5.484	270	95	61	61	61	36

Fonte: Autor

Vale destacar que ao realizar a 7ª etapa, três publicações apresentaram experiências em mais de uma área de conhecimento e, por isso, esses textos foram utilizados em mais de uma categoria. Esses trabalhos foram Celani et al. (2017) apresentando experiências em “conforto ambiental” e “projeto”; Amim (2007) com estudos em “conforto ambiental”, “geometria” e “projeto”; e Basto e Lordsleem Junior (2016) com trabalhos em “construção” e “projeto”. Dessa forma, ao invés de 36 textos, foram analisados 40 trabalhos.

Os resultados da análise dos 40 trabalhos são apresentados nas próximas seções, que estão organizadas de acordo com as categorias das áreas do saber das Diretrizes Curriculares, que são: “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”.

4.1 TICs no ensino dos conteúdos de “construção”

A adoção das tecnologias digitais no ensino de arquitetura e urbanismo não é um tema novo. Algumas universidades desenvolveram experiências didáticas explorando algumas potencialidades que as TICs podem oferecer para o ensino. A seguir serão destacados estudos que se enquadram no ensino de conteúdos da categoria “construção”.

Building Information Modeling (BIM)

Uma das possibilidades oferecidas pelas TICs no ensino de tecnologia da construção e sistemas estruturais foi descrita por Kubicki et al. (2012). Os autores (p. 87, nossa tradução) tratam sobre a aplicação da simulação 4D para auxiliar na “compreensão de simulação da sequência de montagem da construção, a fim de confrontar o aluno com a análise das características dos projetos existentes e com problemas de gestão da construção”. Esse estudo ocorreu na *University of Liège*, Bélgica, e os *softwares* utilizados na disciplina foram SketchUp™ para modelagem 3D e 4D Virtual Builder© (*plug-in* do SketchUp™) para modelagem e simulação 4D. Nessa experiência, os alunos utilizaram a tecnologia para modelar e testar soluções estruturais e componentes do sistema construtivo de edifícios construídos. Contudo, os professores também poderiam ter utilizado a simulação 4D para explicar conteúdos teóricos da disciplina e, assim, otimizar a compreensão desses alunos quanto aos temas tratados em sala de aula, como princípios estruturais e processos de construção. Desse modo, para essa dissertação, o recurso tecnológico e a alternativa proporcionados por essa experiência receberam o nome de ‘**planejamento da execução do projeto e obra**’ e ‘etapas de construção’, respectivamente.

Já Neiva Neto e Ruschel (2015) propõem um método de desenvolvimento de projeto de fôrma de madeira na plataforma BIM a partir da criação de uma biblioteca de componentes para este tipo de projeto. O *software* utilizado foi o Revit Structure. Um dos meios de validação do método foi em uma disciplina de graduação em engenharia civil realizada no segundo semestre de 2013 na Unicamp. Segundo os autores (2015, p. 194), os alunos deveriam realizar as seguintes atividades: (a) “instalação de fôrmas em dois pavimentos tipo de uma estrutura de concreto armado”; (b) “a elaboração de um cronograma de concretagem do pavimento tipo, incluindo a montagem da fôrma, concretagem e desfôrma”; e (c) “a criação da simulação 4D do processo”. Para a simulação 4D o programa utilizado foi o Navisworks. Como resultado, os alunos consideraram a biblioteca criada muito útil ou útil, principalmente em relação à visualização de fôrmas em projeto. Esse experimento foi usado para o ensino de

técnicas construtiva devido ao objetivo de utilizar a biblioteca de fôrmas que foram criadas pelos autores. Contudo, o exercício realizado pode ser empregado no ensino de outros conteúdos como sistemas construtivos, instalações e equipamentos prediais, organização de obras e canteiros, implantação de infraestrutura urbana, sistemas estruturais, domínio da concepção e do projeto estrutural, estabilidade das construções e fundação. O recurso tecnológico dessa experiência foi '**planejamento da execução do projeto e obra**' e a alternativa foi 'etapas de construção',

Mokhtar (2007) leciona uma disciplina com alunos do terceiro ano do curso de arquitetura da *American University of Sharjah*, Emiratos Árabes Unidos. O objetivo da disciplina era usar um *software* BIM Autodesk® Architectural Desktop (ADT) como meio de aprendizagem de sistemas estruturais durante a prática de projeto, uma vez que o autor acredita que a dificuldade da maioria dos alunos é de selecionar e adequar um sistema construtivo apropriado às condições de determinado projeto. Para isso, os estudantes foram instigados a construir virtualmente no programa ADT uma pequena edificação de um pavimento. O autor apontou vantagens no uso BIM no ensino como o surgimento de oportunidades de discussão de projeto relacionado à construção, maior senso prático da construção já que os alunos lidam com objetos de construção (parede, porta, janela, etc.) com propriedades condizentes com o mundo físico, além de realizar detalhes facilmente e visualizar materiais que possuem semelhança com os materiais de uma construção real. Uma das desvantagens assinaladas foi a “complexidade do uso do *software* BIM em comparação com outros *softwares* de modelagem 3D tradicionais” (MOKHTAR, 2007, p. 125). Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**. Vale salientar que diferentes *softwares* BIM possuem potencialidades para serem usados no ensino de “construção” permitindo abranger todos os conteúdos desta categoria. Algumas dessas potencialidades serão apresentadas no capítulo 5.

Outra possibilidade oferecida pelas TICs foi explorada por Basto e Lordsleem Junior (2016) em um estudo que descreve e analisa uma experiência de ensino de BIM na disciplina de *Construction Project Management I* ministrada no *Arizona State University* (ASU), EUA, em 2014. A disciplina possuía aulas teóricas, práticas e um trabalho final. Foram realizadas aulas práticas de capacitação nos *softwares* Revit, Navisworks Manage, Google Earth, SketchUp, Bluebeam Revu e Microsoft Management Project. Segundo os autores (p. 54), os temas trabalhados com esses programas foram “modelagem, logística do canteiro de obras, navegação no modelo, detecção de conflitos entre sistemas, instalações e componentes do projeto, gestão de atividades e funcionalidades e cronograma de obras (modelo 4D)”. Além desses conteúdos, com o desenvolvimento do trabalho final da disciplina - que se tratava de preparar o planejamento de uma construção de uma clínica médica - os alunos

produziram um “plano de implementação de BIM para um empreendimento”, compreenderam como a plataforma “pode ser utilizada como suporte para o processo construtivo” e para o “planejamento de um sistema *Lean Construction*” (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016, p. 53). Recurso tecnológico: **‘visualização do modelo e do projeto’, ‘verificação de incompatibilidades de projeto’ e ‘planejamento da execução do projeto e obra’**. O último recurso citado possui as seguintes alternativas de uso: ‘logística do canteiro de obras’ e ‘etapas de construção’.

Realidade Aumentada (RA)

A Realidade Aumentada também pode ser explorada no meio acadêmico como foi feito por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) em uma disciplina sobre “construção”. Os autores testaram um experimento nomeado AR Magic Book na *University of Central Florida*, EUA. Nesse estudo, a RA foi utilizada para aumentar o conteúdo dos livros didática. As imagens, tabelas e diagramas do livro funcionavam como um marcador. Quando dispositivos portáteis habilitados a *web* capturavam esses marcadores, informações virtuais (vídeos, sons, imagens 2D e modelos 3D) se sobrepunham ao livro, como pode ser observado na Figura 13. Com isso, a RA pode ser usada para potencializar a aprendizagem com o material didático sobre qualquer conteúdo. A fim de avaliar a eficácia do AR Magic Book, os alunos foram divididos aleatoriamente em dois grupos (A e B) de 8 pessoas, sendo que o grupo A participou de uma palestra tradicional e o grupo B participou de uma palestra idêntica a primeira, porém com o uso de RA incorporada. Esta análise indicou que o grupo B teve uma melhoria significativa no aprendizado a curto e longo prazo em comparação com o grupo A. Os resultados dos questionários feitos pelos alunos demonstram que gostaram do ambiente de aprendizagem interativo em comparação com a abordagem tradicional e houve maior interesse e motivação quando a RA foi utilizada na sala de aula. Como ponto negativo alguns alunos mencionaram que era difícil trabalhar com RA enquanto tentava se concentrar na palestra. Como conclusão, os resultados sugerem que RA pode oferecer melhores recursos de suporte à aprendizagem, fornece um espaço de trabalho interativo, encoraja a colaboração e a interação entre os alunos e os conteúdos do curso (BEHZADAN; VASSIGH; MOSTAFAVI, 2016). Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: por meio de ‘marcador ou GPS’ para exibir ‘Textos, imagens e/ou vídeos informativos’.

Figura 13 - AR Magic Book



Fonte: Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)

BIM e RA

Na mesma publicação, Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) realizaram outra experiência de ensino utilizando a realidade aumentada e BIM para ensinar tópicos abstratos a estudantes de graduação de arquitetura e construção em uma visita a campo. Nessa experiência, os autores desenvolveram um aplicativo chamado Skope (Figura 14). Esse aplicativo, que está disponível para baixar no *App Store* e no *Play Store*, fornece acesso a um modelo BIM sensível a localização permitindo a sobreposição desse modelo em um edifício do mundo real. Com isso, os alunos podem interagir com diferentes parâmetros do modelo tais como “orientação, entorno, direção de ventos predominantes, processos de construção, sistemas estruturais, detalhes de conexão, sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação” durante a aula e puderam analisar e compreender o funcionamento do edifício (BEHZADAN; VASSIGH; MOSTAFAVI, 2016, p. 265). Segundo os mesmos autores, para a produção do Skope, primeiro obteve-se um modelo BIM em Revit que foi exportado para o 3D Max onde detalhes e recursos foram adicionados, tornando o edifício realista. Ao mesmo tempo o conteúdo pedagógico (anotações visuais, animações e lições interativas) foi produzido. O modelo e os conteúdos pedagógicos foram exportados para o jogo Unity 3D a fim de construir o aplicativo de RA. O aplicativo usa a bússola do dispositivo móvel e sensores GPS, bem como a câmera para determinar a direção e a localização do usuário. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: por meio de ‘marcador ou GPS’ para relacionar o ‘projetado (virtual) e o construído (real)’.

Figura 14 - Aplicativo Skope



Fonte: Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)

Realidade Virtual (RV)

Uma das possibilidades de uso de RV no ensino de “construção” foi exibida por Stange (2012). O autor estudou o desenvolvimento de um protótipo de RV não imersivo onde o usuário realiza um treinamento virtual de montagem de uma fôrma para moldar um pilar de concreto armado, como mostra a Figura 15. A intenção do experimento é transmitir conhecimento sobre técnicas construtivas usando RV. A atividade foi realizada em um *laptop* e o *mouse* é usado para navegar e montar a fôrma. A modelagem do ambiente virtual foi feita no programa 3DS Max, usou biblioteca Visualization Toolkit (VTK) e compilador Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition. A validação do protótipo foi realizada em aulas-teste com alunos de graduação de engenharia civil e com um professor deste curso. Ao final, o protótipo obteve resultado positivo que atingiu o objetivo de ser “um ambiente virtual educacional motivador” (STANGE, 2012, p. 121). Vale destacar que protótipos de treinamento virtual podem ser expandidos para o ensino de outros conteúdos de “construção” como instalações e equipamentos prediais, organização de obras e canteiros, implantação de infraestrutura urbana, sistemas estruturais, resistência dos materiais, estabilidade das construções e fundações. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**. Alternativa: para capacitação profissional.

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Fabricação Digital é outra possibilidade explorada no ensino de “construção”. Quintella, Ferreira, Florêncio (2016) identificam experiências educacionais de

construção de pavilhões temporários através de fabricação digital. A experiência que se destacou no ensino correspondente à categoria “construção” foi o *Summer Pavilion programme* que ocorreu entre os anos 2005 e 2009 na *Architectural Association de Londres*. Esse programa resultou na montagem de quatro pavilhões (*Fractal Pavilion*, *Bad Hair Pavilion*, *Swoosh Pavilion* e *Driftwood Pavilion*) que objetivaram “explorar o potencial arquitetônico da construção em madeira” (QUINTELLA; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2016, p. 322). A Figura 16 mostra um dos pavilhões construídos. As ferramentas de modelagem 3D utilizadas foram Rhinoceros e o *plugin* Grasshopper. O processo didático consistiu em *workshop* sobre desenho paramétrico, linguagem de programação e uso de algoritmos e, depois, foram apresentadas técnicas de fabricação digital, principalmente corte a *laser*. Os autores (p. 320) destacam que “a natureza temporária do pavilhão cria uma oportunidade para testar novos materiais e processos construtivos, mas também para experimentar ideias teóricas e conceituais”. Recurso tecnológico: testar/estudar a forma.

Figura 15 – Montagem de fôrma no canteiro de obra virtual



Fonte: Stange (2012, p. 74)

Figura 16 - *Swoosh Pavilion* - terceiro pavilhão construído no programa AA.



Fonte: Quintella, Ferreira, Florêncio (2016)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “construção”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 6A consolida as experiências didáticas no ensino de “construção” utilizando a plataforma BIM. Adicionalmente, esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “construção” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Cabe acrescentar que esse quadro e todos os outros quadros das próximas seções dos capítulos 4 e 5 apresentam um demonstrativo das experiências estudadas que usaram TICs até o final de 2017 no universo pesquisado. Contudo, devido a rapidez com que as novas tecnologias e *softwares* são desenvolvidos e atualizados, a realização de uma tabela definitiva sobre essas informações fica impedida, uma vez que os dados se tornam obsoletos muito rapidamente.

Quadro 6A - Consolidação das experiências didáticas - BIM no ensino de “construção”

Recurso Tecnológico	Alternativas	Conteúdo de “construção”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Planejamento da execução do projeto e obra	Etapas de construção	Técnicas e sistemas construtivos, Sistemas estruturais	SketchUp™ e 4D Virtual Builder® (plug-in do SketchUp™)	Kubicki et al. (2012)	University of Liège, Bélgica
		Técnicas construtivas	Revit Structure e Navisworks	Neiva Neto e Ruschel (2015)	Unicamp, Brasil
	Logística do canteiro de obras	Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros	Revit, Navisworks Manage, Google Earth, SketchUp, Bluebeam Revu e Microsoft Management Project	Bastos e Lordsleem Junior (2016)	Arizona State University, EUA
Visualização do modelo e do projeto					
Verificação de incompatibilidades de projeto					
Interação com o modelo e o projeto		Sistemas estruturais	Autodesk® Architectural Desktop - ADT	Mokhtar (2007)	American University of Sharjah, Emiratos Arabes Unidos

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 6B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “construção” utilizando RA, BIM com RA, RV e FD.

Quadro 6B - Consolidação das experiências didáticas – RA, BIM com RA, RV e FD no ensino de “construção”

TIC	Recurso Tecnológico	Alternativas	Conteúdo de “construção”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA	Relacionar o real com o virtual	Marcaador ou GPS	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	AR Magic Book	Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)	University of Central Florida, EUA
BIM e RA		Projetado (virtual) e construído (real)				
RV	Interação com ambiente virtual	Para capacitação profissional	Técnicas e sistemas construtivos	3D Max, Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition e biblioteca Visualization Toolkit (VTK)	Stange (2012)	UFPR, Brasil
FD	Testar/Estudar a forma		Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Domínio da concepção e do projeto estrutural	Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)	Universidade Federal do Rio de Janeiro,

Fonte: Autor

4.2 O papel das TICs no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”

O ensino da categoria “conforto ambiental” é bastante explorado pelas Tecnologias de Informação e Comunicação. Das TICs tratadas nessa dissertação e do universo pesquisado foram encontradas algumas publicações sobre este assunto que são apresentadas a seguir.

Modelagem da Informação da Construção (BIM)

Em um estudo feito na UFJF, Vilella, Lima e Zancaneli (2015) investigaram as possibilidades de aplicação de simulação em experiências acadêmicas. Os autores (p.756) estimularam alunos durante uma disciplina a experimentar diferentes abordagens de análise térmica “para a compreensão e avaliação das características

referentes ao conforto térmico do edifício em que estudam.” As abordagens utilizadas nesse estudo foram Carta Solar, SketchUp e Ecotect. Com isso, foi verificado a proximidade dos alunos com cada ferramenta e o produto final de análise. Como resultado foi verificado que as cartas solares demandam conhecimento técnico prévio, já que as informações precisam ser interpretadas. A análise do SketchUp foi feita por meio visual sem mensuração de dados. Já o Ecotect apresenta um resultado mais preciso e detalhado do modelo com aplicação de escalas de cores nas fachadas de acordo com a quantidade de radiação solar incidente. Com relação aos alunos contactou-se que o fator determinante da escolha do tipo de análise é o domínio do método e da ferramenta. No final, foi constatado que *softwares* podem ser utilizados para suprir demandas de ensino ligado ao “conforto ambiental”. Vale destacar que o Ecotect foi desligado pela Autodesk em 20/03/2015 e suas funções passaram a funcionar no Revit, exceto a parte acústica. Esse experimento também poderia contribuir para ensinar outros conteúdos de “conforto ambiental” como condições climáticas e lumínicas. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

O estudo de caso apresentado por Alwan, Holgate e Jones (2014) em *Northumbria University*, Reino Unido, consistiu em palestras sobre projeto em BIM, seguido da aplicação do curso online de certificação do *Building Performance Analysis* (BPAC) oferecido gratuitamente pela Autodesk e, por último, os estudantes deveriam empregar esses conhecimentos em um projeto de arquitetura. Essa experiência demonstrou que foi possível rastrear as decisões tomadas durante o desenvolvimento de projeto e medir as consequências dela para o resultado do projeto. Além disso, os alunos manifestaram alto grau de aceitação e motivação com relação à participação da atividade. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Doelling e Nasrollahi (2012), Çavusglu (2015) e Celani (2012) investigam a integração de ferramentas de simulação computacional nos estágios iniciais de projeto, sendo que Çavusglu (2015) e Celani (2012) utilizam o *software* Vasari para essa avaliação. Sobre o Vasari, Celani (2012) diz que esse programa era disponibilizado pela Autodesk gratuitamente e não precisava ser instalado, pois funcionava a partir de um arquivo executável. Além disso, a partir de três informações conceituais de projeto como o estudo de massa simplificado do edifício, definição de tipologia (residencial, escritórios, comércio ou indústria) e posicionamento geográfico, o programa realizava três análises: (a) circulação de ar ao redor da edificação; (b) carga térmica recebida nas fachadas; e (c) custo da construção e do seu ciclo de vida. E os resultados das análises eram apresentados de quatro formas: (1) animações (túnel de vento); (2) visualização 3D; (3)

planilhas para Excel; (4) relatórios e gráficos gerados em formato PDF. Vale ressaltar que o Vasari foi desligado em 31/05/17 e suas funções foram transferidas para FormIt, Dynamo e Revit. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

A pesquisa de Çavusglu (2015) na Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Istambul, Istambul, discutiu sobre as oportunidades oferecidas pela ferramenta BIM Vasari nos estágios iniciais de projeto de arquitetura no que se refere à análise de desempenho e forma encontradas. Para tal fim, realizou um estudo de caso para analisar como os participantes interagem com a ferramenta e com o processo de projeto, além de verificar como efetivamente os alunos utilizam o Vasari como ferramenta de projeto. Para isso, os estudantes tiveram aulas teóricas e práticas de BIM, aprenderam o Vasari e, então, desenvolveram um projeto que exigia bom desempenho ambiental com custos razoáveis. Como resultado o *software* possui capacidades eficazes e funcionais para a fase conceitual de projeto, tem potencial de se desenvolver e é fácil de aprender. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Similarmente, Celani (2012) descreve uma experiência didática de utilização do Vasari⁹ em uma turma de projeto do 8º período na Unicamp em 2011. O programa foi ensinado aos alunos, porém seu uso não foi obrigatório, os alunos poderiam utilizá-lo como um recurso adicional de projeto. Como resultado foi verificado que apesar dos alunos aprendem um novo *software* trazendo oportunidades de simular diversas alternativas de implantação nas fases iniciais de concepção com modelos volumétricos simplificados, a maioria não usou essas vantagens, uma vez que essa disciplina ocorreu no 8º período e os discentes já possuíam uma formação prévia de utilizar outros procedimentos de decisão de projeto. Para essa questão a autora (p. 62) sugeriu uma “necessidade de uma reestruturação do ensino de atelier ao longo de toda a formação do arquiteto, e não apenas em uma disciplina, para que ele possa efetivamente incorporar as ferramentas de simulação nas etapas de concepção do projeto”. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Doelling e Nasrollahi (2012) também pesquisam na Universidade Técnica de Berlim, Alemanha, sobre a integração de ferramentas de simulação computacional nos estágios iniciais de projeto. Porém, diferente de Çavusglu (2015) e Celani (2012), os autores ensinavam o uso interconectado dos *softwares* DIVA (*plugin* de simulação de luz do dia para Rhinoceros3d), Design Builder (*software* BIM com interface para o mecanismo de simulação EnergyPlus), Rhinoceros3d (um modelador NURBS) e

⁹ O Vasari foi desligado em 31/05/17 e suas funções foram transferidas para FormIt, Dynamo e Revit.

Grasshopper3d (uma ferramenta de geometria paramétrica). Ademais, o modelo final de um dos grupos foi impresso por prototipagem rápida. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Já Yan e Liu (2007) realizaram no *Texas A&M University*, Estados Unidos, um estudo para melhorar o ensino de projeto sustentável por meio da plataforma BIM e de jogos de computador. Para isso, os autores desenvolveram um processo e ferramentas que consiste em três fases: projeto, jogo e atualização. A fase de projeto é desenvolvida em um *software* da plataforma BIM, que no protótipo preliminar foi utilizado o Revit, onde são inseridas informações geométricas e não geométricas. Na fase seguinte, o modelo BIM é transferido para o jogo por meio de um aplicativo. Nessa fase, o jogo faz simulações físicas no edifício e também avalia o comportamento humano de usuários virtuais no ambiente projetado e, então, os projetistas/estudantes são informados sobre a avaliação do projeto em termos de sustentabilidade e sobre as estratégias gerais de projeto e soluções específicas. Após a avaliação de sustentabilidade realizada pelo jogo, na última fase – atualização -, o projeto e o estilo de vida dos usuários virtuais podem ser modificados até que o desempenho satisfatório seja alcançado. Depois das três fases, as modificações realizadas ao longo do jogo são transferidas para o modelo BIM original sem necessidade de retrabalho. Esse tipo de metodologia motiva os alunos a aprenderem estratégias de projeto sustentáveis por meio de um jogo em seus próprios ambientes projetados, além de compartilhar e aplicar novas estratégias em projetos. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Em uma experiência acadêmica, Techel e Nassar (2007) utilizaram o *software* Archicad 10 para melhorar a percepção dos alunos com relação aos impactos do sol na edificação. A experiência foi realizada na *University of Sharjah*, Emiratos Árabes Unidos. Foram concebidos dois exercícios, o primeiro consistia em projetar um dispositivo de sombreamento para manipular a luz no espaço interior e o segundo tratou do projeto de uma casa padrão. Em ambos os exercícios, os alunos puderam avaliar o funcionamento do dispositivo e o impacto do sol na construção a partir da observação do caminho do sol ao longo do dia e do ano e das sombras geradas pelo programa. Com o avanço da tecnologia BIM, em 2018 esse exercício também poderia abranger o ensino de conteúdos de “conforto ambiental” como avaliação dos impactos no meio ambiente, desenvolvimento sustentável, condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Na Universidade de Brasília, Brasil, em 2007, Amorim et al. (2008) uniram a disciplina de Projeto Ambiental Integrado, que aborda sobre conceitos ambientais

relacionado ao projeto, com a disciplina Projeto de Arquitetura 5, que trata de projeto de edificações em altura. Nessa disciplina, os alunos elaboraram um projeto de edifício comercial em altura utilizando os *softwares* SolAr e Ecotect para análise de sombreamento e de insolação da implantação e da edificação. No decorrer do projeto foram apresentados recursos de simulação de iluminação e térmica do Ecotect. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

David, Faustini e Fontes (2017) realizaram a mesma experiência didática em dois cursos de arquitetura e urbanismo, sendo um na disciplina Conforto Térmico II no 3º período da Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru, e o outro em seminários de Conforto Ambiental no 10º período da Universidade Paulista, Campus Araçatuba. Os autores ensinaram geometria da insolação por meio do método tradicional e depois apresentaram aos alunos o programa SketchUp usando um projeto como exemplo. O intuito do uso deste programa era auxiliar no ensino de geometria da insolação a partir do uso do caminho do sol disponível no *software* em uma edificação georreferenciada, de modo que fossem propostas técnicas que melhorassem o conforto térmico e eficiência térmica da construção. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Celani et al. (2017) relataram o uso de ferramentas de análise ambiental em uma disciplina de projeto de edifícios altos no 9º período da Universidade de Campinas, Brasil. A intenção dos autores (p. 48) era que os estudantes fizessem um projeto que refletisse os conceitos sobre “edifícios energeticamente eficientes, com redução do consumo de energia por meio da iluminação e ventilação naturais”. A ferramenta utilizada foi o Vasari⁹ para análise do acúmulo de energia térmica nas fachadas e para explorar desempenho ambiental de “composições geométricas complexas [...], onde o grau de complexidade geométrica impossibilitaria o uso de *rules of thumb* (regras baseadas na experiência), uma vez que as fachadas possuíam orientação variável” (CELANI et al., 2017, p. 34). No final da disciplina, os alunos fizeram uma apresentação do projeto e as justificativas das decisões projetuais deveriam estar embasadas nas análises computacionais realizadas ao longo da disciplina. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Realidade Aumentada (RA)

A Realidade Aumentada também foi utilizada no ensino de “conforto ambiental”. Amim (2007) relata um estudo feito por Kuo et al. (2004) sobre a aplicação de Realidade Aumentada no ensino de arquitetura sustentável na *National Cheng Kung University*, Taiwan. A RA foi utilizada como um meio para exploração do jardim ecológico da universidade. Através de um *tablet*, os alunos visualizavam virtualmente o sistema de

reaproveitamento de água do jardim e informações 2D, 3D e textos ficavam sobrepostas ao cenário real, ajudando a compreender o mecanismo do campus sustentável (Figura 17). Além disso, era possível interagir em tempo real fazendo anotações e observações na camada virtual e os usuários podiam circular com o *tablet* em um eixo determinado para adquirir informações dos edifícios circundantes. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: ‘Marcador ou GPS’ para exibir o ‘projetado (virtual) e construído (real)’ ou ‘textos, imagens e/ou vídeos informativos’.

Figura 17 – O usuário pode escrever notas e marcações pessoais diretamente na tela, além de baixar novas informações da internet, incluindo seus apontamentos.



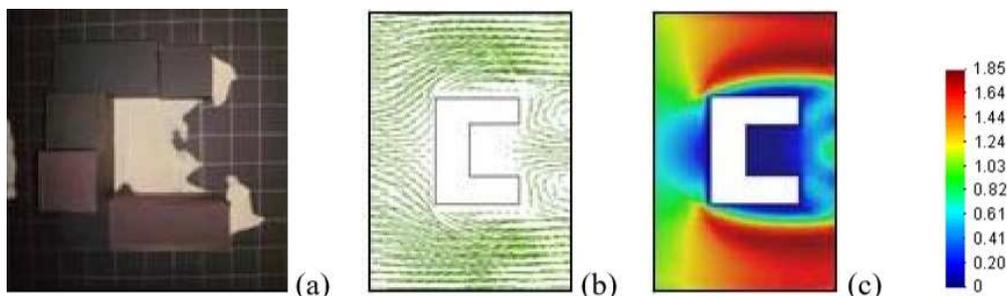
Fonte: Amim (2007, p. 104)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outra forma de ensinar “conforto ambiental” é utilizando a prototipagem rápida, conforme foi realizado por Drach, Vasconcellos e Corbella (2010). Os autores conceberam um experimento para montagem de material didático que consiste na visualização e análise do caminho do vento no espaço urbano. O experimento foi elaborado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Foi realizada uma comparação entre simulação computacional e experimental em uma mesma composição urbana, no caso foram testadas situações hipotéticas e a região da Praça do Largo do Machado, RJ. A simulação computacional baseou-se no método de elementos finitos e os resultados são apresentados através de campos de vetores e isofaixas dos campos de vento. Já a simulação experimental adotou o método arrasto de areia ao redor de uma maquete e teste com túnel de vento. A Figura 18 mostra a comparação dos resultados de um agrupamento urbano hipotético usado para teste. Uma das vantagens apontadas pelos autores (s.p.) foi que a “visualização imediata do efeito do vento no nível do pedestre pode auxiliar os envolvidos no desenho urbano [...] visando o conforto dos ambientes externos” e citam que alunos podem desfrutar dessa experiência de forma não presencial por meio de imagens fotográficas, filmes e gráficos gerados durante o experimento. Vale destacar

que esse material didático tanto pode ser aplicado para o ensino de “conforto ambiental” como para “projeto”. Recurso tecnológico: **testar/Estudar a forma**. Alternativa: em túnel de vento.

Figura 18 - (a) Resultados dos experimentos com os blocos compactos: técnica do arrasto de areia; (b) simulação computacional, com o campo de velocidades; (c) as isoformas de velocidade.



Fonte: Drach, Vasconcellos e Corbella (2010)

Em uma disciplina de conforto ambiental na Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Fonseca e Carlo (2012, p. 696) desenvolveram ferramentas didáticas para serem utilizadas “em aulas teóricas e como apoio à execução de exercícios em aulas práticas”, visando auxiliar os alunos na assimilação de conceitos considerados de maior dificuldade de apropriação. Os critérios de produção das ferramentas foram “durabilidade, facilidade no transporte, manuseio e entendimento, além do custo reduzido de produção”. Uma das ferramentas didáticas elaboradas foi um protótipo de iluminação natural para estudo de ambientes internos. O protótipo consistia em uma maquete na escala 1/20 para simular ambientes com diferentes proteções solares. Segundo os autores (p. 697), a maquete “possui paredes removíveis, proteções solares com mecanismos de encaixe e olhos mágicos para visualização da iluminação nos ambientes internos” (Figura 19). Essa ferramenta pode ser confeccionada por meio da prototipagem rápida visando maior durabilidade e manuseio do protótipo. Recurso tecnológico: **testar/Estudar a forma**.

Figura 19 - Maquete de iluminação natural – interior, com destaque para as proteções zenitais e paredes móveis.



Fonte: Fonseca e Carlo (2012, p. 697)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 7A consolida as experiências didáticas no ensino de “conforto ambiental” utilizando a plataforma BIM com o recurso tecnológico ‘simulação do modelo’ e a alternativa ‘análise de desempenho ambiental’. A predominância deste recurso tecnológico e da respectiva alternativa talvez se deva pela facilidade de utilização desse recurso no meio acadêmico. Adicionalmente, esse quadro evidencia os conteúdos de “conforto ambiental” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 7A - Consolidação das experiências didáticas – BIM no ensino de “conforto ambiental”

Conteúdo de “conforto ambiental”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Condições energéticas	SketchUp e Ecotect	Vilella, Lima e Zancanelli (2015)	UFJF, Brasil
Condições climáticas; condições lumínicas; condições energéticas	<i>Building Performance Analysis Certificate</i> (BPAC)	Alwan, Holgate e Jones (2014)	<i>Northumbria University</i> , Reino Unido
Avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável; condições climáticas, condições energéticas.	Vasari ⁹	Çavusglu (2015)	Universidade Técnica de Istambu, Istambul
Avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável; condições climáticas, condições energéticas	Vasari ⁹	Celani (2012)	Unicamp, Brasil
Desenvolvimento sustentável; condições climáticas; condições lumínicas; condições energéticas	DIVA, Design Builder, Rhinoceros 3d; Grasshopper 3d; Ecotect	Doelling e Nasrollahi (2012)	Universidade Técnica de Berlim, Alemanha
Preservação da paisagem; avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável;	Revit, Microsoft XNA Game Studio Express (XNA)	Yan e Liu (2007)	<i>Texas A&M University</i> , EUA
Condições lumínicas	Archicad 10	Techel e Nassar (2007)	<i>University of Sharjah</i> , Emiratos Árabes Unidos.
Avaliação dos impactos no meio ambiente Condições climáticas Condições lumínicas Condições energéticas	Ecotect e SolAr	Amorim et al. (2008)	Universidade de Brasília, Brasil
Condições lumínicas	SketchUp	David, Faustini e Fontes (2017)	Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru, e da Universidade Paulista, Campus Araçatuba, Brasil
Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições lumínicas; Condições energéticas.	Vasari ⁹	Celani et al. (2017)	Universidade de Campinas, Brasil

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 7B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “conforto ambiental” utilizando RA e PR. Este quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “conforto ambiental” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 7B - Consolidação das experiências didáticas – RA e PR no ensino de “conforto ambiental”

TIC	Recurso Tecnológico	Alternativas		Conteúdo de “conforto ambiental”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA	Relacionar o real com o virtual	Marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real) Textos, imagens e/ou vídeos informativos	Avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável	Aplicativo de RA	Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)	National Cheng Kung University, Taiwan
PR	Testar / Estudar a forma	Em túnel de vento		Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas	Arrasto de areia e teste com túnel de vento	Drach, Vasconcellos e Corbella (2010)	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
	Testar / Estudar a forma			Condições lumínicas	-	Fonseca e Carlo (2012)	Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Fonte: Autor

4.3 TICs no ensino dos conteúdos de “história”

Dentro do universo pesquisado não foi encontrado nenhuma publicação que trate sobre aplicação didática com uso de BIM, RA, RV, PR ou FD no ensino da categoria “história”, conforme conteúdos definidos pelas Diretrizes Curriculares no Quadro 3 da subseção 2.2.2., relacionados aos seguintes temas: ‘Técnicas Retrospectivas’, ‘Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo’ e ‘Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo’. Cabe acrescentar que a área do saber ‘Estética e História das Artes’ faz parte da categoria “projeto”, devido às características expressas nas DCN e explicitadas no Quadro 2 da subseção 2.2.2: “IV - o conhecimento da história das artes e da estética, suscetível de influenciar a qualidade da concepção e da prática de arquitetura, urbanismo e paisagismo” (MEC, 2010). A categoria “projeto” será apresentada na seção 4.5 dessa dissertação.

Lamenta-se o fato do estudo não ter encontrado nenhuma publicação no universo pesquisado, uma vez que estudar história da arquitetura, segundo Brandão

(2012, p. 31) “dilata e aprofunda nosso entendimento dos próprios conceitos antigos, e testa a potencialidade deles para a compreensão do contemporâneo”.

Apesar disso, o capítulo 3 revelou que o BIM pode ser utilizado ao longo de todo o ciclo de vida da edificação e isso inclui a fase de operação, manutenção e renovação. Complementarmente, Volk, Stengel e Schuktmann (2014) apontam muitos benefícios no uso de BIM em edificações existentes. Ou seja, existem possibilidades de uso dessa tecnologia em construções finalizadas e em edifícios de importância histórica. Sobre esse último aspecto, Canuto (2017) destaca que o HBIM vem sendo utilizado na preservação do patrimônio histórico cultural.

Logo, percebe-se que o uso de TIC na preservação do patrimônio já ocorre e, portanto, se os professores tiverem conhecimento dessa tecnologia ou de outras, talvez eles pudessem incorporá-las em sala de aula no ensino de “história”. O mesmo vale para a realidade aumentada, realidade virtual, prototipagem rápida e fabricação digital. Com isso, a categoria “história” exhibe grandes potencialidades de uso de TICs no ensino que ainda não foram exploradas pelos professores. Algumas dessas possibilidades serão apontadas no capítulo 5.

4.4 “Geometria” utilizando ferramentas digitais

As TICs também podem ser utilizadas em disciplinas que trabalham de “geometria” e habilidades de desenho, conforme será apresentado a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Delatorre, Pereira e Pupo (2013 apud DELATORRE, 2014) realizaram uma pesquisa no curso de Arquitetura e Urbanismo da UNOCHAPECÓ, Santa Catarina, que introduziu o BIM na disciplina de desenho arquitetônico em turmas do 1º período do curso. O foco da disciplina era a leitura, interpretação e representação de desenhos arquitetônicos. Segundo os autores (p. 83), a ferramenta utilizada foi o Archicad e a “experiência limitou-se à modelagem e aos recursos de visualização” proporcionados pelo programa. Após a exposição de conteúdos teóricos relacionados à história do desenho arquitetônico, sistema Mongeano de representação e conceitos de CAD, CAAD e BIM, os alunos começaram a aprender os diferentes tipos de representação arquitetônica por meio da modelagem no *software* e extração de desenhos (plantas, cortes, vistas e fachadas). A pesquisa apontou que os alunos sentiram mais facilidade de interpretar e desenhar em 2D a partir do modelo BIM se comparado com os demais alunos que aprenderam da maneira tradicional. Com a terceira dimensão, os estudantes

passam a ter maior compreensão da volumetria, e a percepção espacial foi facilitada. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto.**

Checucci, Amorim e Pereira (2013) contam a experiência de introdução de BIM no curso noturno da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Brasil. Entre os assuntos abordados pelos autores, se destaca a experiência da disciplina ‘Desenho Projetivo’ que trata sobre conteúdos de geometria descritiva, perspectiva linear, desenho projetivo, introdução ao desenho técnico e desenho arquitetônico. O diferencial é que o conteúdo foi ensinado por meio da ferramenta SketchUp e não pelos recursos tradicionais de desenho. Explicações, exercícios e trabalhos foram praticados na disciplina por uma abordagem 2D e 3D através deste programa. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto.**

Similarmente à Checucci, Amorim e Pereira (2013), Pontes (2013) introduziu o uso de ferramentas computacionais na disciplina ‘Oficina de Fundamentação e Instrumentação’ do curso noturno da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, em 2013. Oferecida no primeiro período e com uma carga horário de 240 horas, essa disciplina aborda os seguintes conteúdos: desenho projetivo, desenho arquitetônico, modelagem tridimensional, tratamento gráfico e diagramação. Primeiramente, os alunos aprendiam geometria descritiva pelo programa SketchUp por meio de aulas teóricas e “como ferramenta para representação dos sistemas de projeção cilíndrica e cônica” (PONTES, 2013, p. 570). O autor (p. 570) explica que “são trabalhados problema típicos como a caracterização e interseção de planos no espaço e esses problemas são resolvidos tanto através do ferramental bidimensional do sistema projetivo quanto através dos facilitadores de operações do próprio *software*”. E acrescenta que os alunos representam bidimensionalmente a partir do modelo 3D e vice-versa. No final, o processo foi repetido com desenhos a mão livre em escala. Depois, o aluno repete o exercício que havia sido trabalhado apenas geometricamente só que agora usando elementos construtivos como a “representação de um telhado e a solução da interseção das diversas águas” através do *software* Revit (PONTES, 2013, p. 570). Como o curso estava em andamento, o autor ainda não possuía resultados definitivos, contudo ele apontou que este experimento fez o inverso do processo tradicional, pois parte-se do espaço 3D representado e o transforma em uma representação 2D. Adicionalmente, o autor cita que as vezes era difícil diferenciar se o aluno tinha dificuldade de compreender aspectos teóricos ensinados ou se apenas estava tendo dificuldade em manipular a ferramenta, e para esclarecer as dúvidas destes alunos foram usados croquis. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto.**

Florio (2007) descreveu uma experiência didática na disciplina Computação na Arquitetura no 3º ano da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil. Nessa disciplina,

os alunos modelaram três edifícios no *software* Revit 8.1 com o propósito de “verificar o aprendizado das relações espaciais entre os elementos construtivos”. Foram apontados como resultado a compreensão da representação 2D dos projetos, entendimento da sequência de execução da obra, redução de “erros de interpretação e articulação entre elementos construtivos no espaço” e, conseqüentemente, melhoria na qualidade dos projetos (FLORIO, 2007, s.p.). Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Vaz, Andrade e Silva (2011) introduziram TIC no ensino de Projeções Cotadas, mais especificamente no ensino de telhados, no curso de engenharia civil da Universidade Federal do Paraná, Brasil. Nessa experiência, os autores usaram 75% das aulas para ministrar o conteúdo teórico e exercícios sobre projeções cotadas com instrumentos de desenho (esquadros, régua e compasso) e nos 25% restante, utilizaram o *software* SketchUp onde modelaram os desenhos 2D em 3D. Os autores concluem que essa abordagem facilitou a compreensão dos assuntos teóricos, melhorou a visualização tridimensional, motivou e aumentou o interesse do aluno pela disciplina e resultou em maior rendimento nos conteúdos trabalhados. Os autores usaram uma TIC para auxiliar no ensino de habilidades de desenho, entretanto, esse procedimento pode ser aplicado aos outros conteúdos de “geometria” como domínio da geometria, perspectiva, modelagem, maquetes e modelos. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Realidade Aumentada (RA)

Outra forma de ensinar “geometria” com tecnologia é usando Realidade Aumentada. Amim (2007) e Lima, Haguenuer e Cunha (2007) citam uma experiência desenvolvida na *Technische Universitat Wien*, Áustria, chamada Construct 3D. Com essa ferramenta, os professores utilizam Realidade Aumentada para ensinar matemática e geometria. Esta é uma “ferramenta de construção 3D, sem animação, num ambiente imersivo com propósitos educacionais” (KAUFMANN et al., 2005 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.). Com a ajuda de um capacete (*Head Mounted Display*, display montado na cabeça) e uma caneta interativa, os alunos visualizam objetos 3D e trabalham diretamente no espaço tridimensional, onde podem criar e realocar pontos ou figuras geométricas tridimensionais e analisar a estrutura dos novos elementos criados (Figura 20). Segundo Amim (2007, p. 103), “a maior vantagem em utilizar RA, é que os estudantes passam a ver os objetos tridimensionais, que antes eles tinham que calcular e desenhar em um papel” e acrescenta que este método possibilita rápida compreensão das questões espaciais ensinadas se comparado com o método tradicional. Abreu (2002 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007) destaca

que esta ferramenta foi criada com intuito de contribuir para o ensino e não para substituir os métodos tradicionais. Recurso tecnológico: **Manipulação do modelo virtual**. Alternativa: sem marcador.

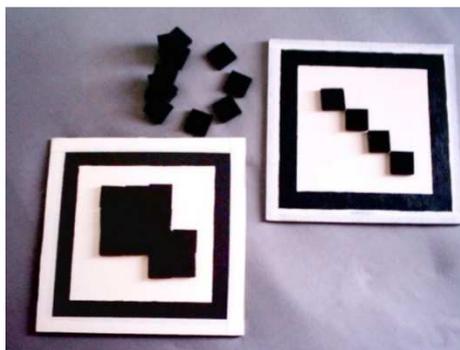
Figura 20 - Foto montagem da visão dos alunos interagindo com formas geométricas



Fonte: Amim (2007)

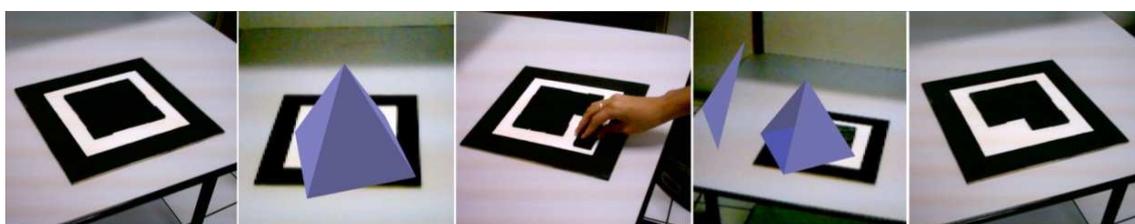
Lima, Haguener e Cunha (2007) apresentaram uma proposta de cartões marcadores reconfiguráveis desenvolvido por Meiguins, Almeida e Oikawa (2006) na Universidade Federal do Pará, Brasil, utilizando o sistema ARToolKit. Como pode ser observado na Figura 21, os marcadores são formados por uma base e pequenos peças (cubos) que quando agrupados em uma certa configuração exibem diferentes objetos de RA. Quando o marcador é modificado, o modelo virtual se altera no mesmo momento. A primeira aplicação desses marcadores reconfiguráveis ocorreu em uma disciplina de Geometria Espacial. Segundo Meiguins, Almeida e Oikawa (2006), uma das formas de utilizar os marcadores na disciplina para explicar os elementos que formam uma pirâmide, por exemplo, é montar um marcador que mostre primeiramente os vértices da pirâmide, depois, são acrescentadas peças neste marcador para revelar arestas ligando os vértices e, por fim, adiciona-se mais peças para formar as faces (Figura 22). Sendo que a retirada de algumas peças representa a remoção de algum elemento virtual. Outra forma descrita por Meiguins, Almeida e Oikawa (2006) de utilizar os marcadores é durante a proposição de exercícios, de modo que o enunciado da questão (texto, figura e dados) pode ser exibido em RA por um marcador, enquanto os alunos utilizam outro marcador para interagir com modelos 3D para resolver a questão proposta. Outra opção de exercício é utilizar um marcador com informações ensinadas em sala que auxiliem na resolução de uma questão. Recurso tecnológico: **visualização do modelo**. Alternativa: por meio de marcador.

Figura 21 - Base e das peças usadas para montar os marcadores reconfiguráveis



Fonte: Meiguins, Almeida e Oikawa (2006 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.)

Figura 22 - Demonstração da formação das faces da pirâmide e retirada de uma das faces.



Fonte: Meiguins, Almeida e Oikawa (2006 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.)

Outra alternativa de uso de RA em “geometria” foi apresentada por Lima, Haguenuer e Cunha (2007), que expõem um protótipo desenvolvido pela Escola de Belas Artes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em conjunto com o Grupo Realidade Virtual (GRVA) do Laboratório de Técnicas Computacionais em Engenharia (LAMCE) da COPPE-UFRJ. O protótipo é um aplicativo para estudo e visualização de seções cônicas (círculo, elipse, parábola ou hipérbole) da Geometria Descritiva por meio da Realidade Aumentada. Segundo os autores (s.p.), o aplicativo foi elaborado “através do DART – *Designer’s Augmented Reality Toolkit*, que funciona no programa Macromedia Director MX”, visualizador *Monitor Based AR*, um computador e *webcam Creative*. O aplicativo possui quatro módulos de visualização:

- (1) Épura: visualização simultânea das vistas ortogonais do objeto estudado no espaço 3D;
- (2) Sólido Épura: observação das vistas anteriores acrescido do “sólido em 3D que deu origem à épura”;
- (3) Sólido: visualização em 3D da seção cônica sem as projeções ortogonais (Figura 23);
- (4) Saber Mais: mostra a “definição geométrica da seção cônica escolhida, segundo o Teorema de Apolônio” (LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.).

Por último, os mesmos autores destacam que esse tipo de experimentação proporciona o desenvolvimento da Inteligência Espacial¹⁰, enquanto o ensino tradicional prioriza o ensino através das Inteligências Linguística¹¹ e Lógico-Matemática¹², o que resulta na dificuldade de os alunos compreenderem os temas abordados em sala. Recurso tecnológico: **visualização do modelo**. Alternativa: por meio de marcador.

Figura 23 - Interface do visualizar mostrando a seção cônica circular.



Fonte: Lima, Haguenaer e Cunha (2007, s.p.)

Andrade, Goulart e De La Cruz (2017) mostraram o resultado de um Trabalho de Conclusão de Curso de Design do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Brasil, que resultou em um livro chamado “Cadernos de Exercícios – desenho técnico com auxílio da realidade aumentada”. Como o próprio nome induz, este livro contém exercícios de desenho técnico com 30 peças diferentes mostrando vistas ortográficas, um *QR Code* e um espaço tracejado para o aluno desenhar as peças em perspectiva (Figura 24). Com o aplicativo Augment instalado no *smartphone* ou *tablet*, o aluno captura o *QR Code* e visualiza a resposta do exercício através da peça em 3D que aparece na tela do celular/*tablet* e pode ser manipulada (rotacionar e mexer no zoom). Segundo os autores (s.p), o aplicativo Augment foi “escolhido por oferecer licença educacional gratuita”. Vale destacar que qualquer usuário que faça um login pode inserir modelos nesse aplicativo. Dessa forma, **o Augment demonstra ser um recurso de fácil acesso aos professores que queiram utilizar RA em sala de aula e para os alunos que conseguem encontrar com facilidade o aplicativo no App Store ou Play**

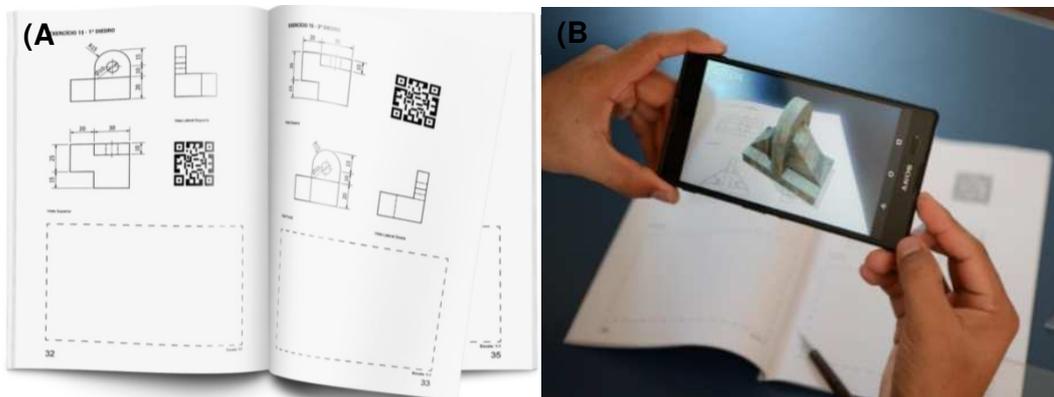
¹⁰ Trata-se de um tipo de inteligência definida na Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner. Segundo Pinto (2014, p. 34), a Inteligência Espacial “consiste na capacidade de compreender o mundo visual com precisão, percebendo sem dificuldade distâncias e proporções dos objetos físicos no plano tridimensional.”

¹¹ Outro tipo de inteligência definida na Teoria das Inteligências Múltiplas, que “caracteriza-se pelo talento para trabalhar com a palavra e sua forma oral e escrita. [...] Também se encontra em pessoas capazes de associar palavras a estímulos não verbais, como o *sommelier*, que descreve os aromas de flores e frutas e um vinho” (PINTO, 2014, p. 33).

¹² Diz respeito a uma inteligência “desenvolvida em indivíduos com facilidade para a abstração, para o raciocínio dedutivo e para a solução de problemas lógicos e numéricos” (PINTO, 2014, p. 32).

Store. Recurso tecnológico: **Manipulação do modelo virtual.** Alternativa: por meio de marcador.

Figura 24 - (A) Livro de exercícios com vistas ortográficas e QR Code; (B) Uso do aplicativo Augment para visualizar a peça em perspectiva.



Fonte: Andrade, Goulart e De La Cruz (2017)

Markusiewicz e Stryk (2015) implementaram Realidade Aumentada na disciplina *Computer-Aided Modeling* no curso de arquitetura da *Warsaw University of Technology*, Polônia, nos anos acadêmicos de 2013/2014 e 2014/2015. O principal foco dos autores foi o ensino de RA para os alunos usarem em apresentações de projeto. Do ponto de vista dos autores, essa abordagem contribuiu para os alunos utilizem diferentes meios de expressarem seu trabalho – como incluir vídeo, som, texto, imagem e modelo digital em apresentações –, além de permitir que os expectadores interagem e explorem de maneira mais efetiva o modelo arquitetônico projetado (Figura 25). Os programas ensinados foram Metaio Creator, Metaio Cloud e aplicativo Junaio nos anos 2013/2014 e Unity 3d com Vuforia plugin, SDK e Rhinoceros3d nos anos 2014/2015. Recurso tecnológico: **Manipulação do modelo virtual.** Alternativa: por meio de marcador.

Figura 25 – Expectador interagindo com o modelo arquitetônico.



Fonte: Markusiewicz e Stryk (2015, p. 89)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Exercício acadêmico utilizando Fabricação Digital é uma das possibilidades exploradas no ensino de “geometria”. Quintella, Ferreira e Florêncio (2016) apresentam exemplos de pavilhões temporários desenvolvidos por meio de fabricação digital por alunos e professores em uma experiência acadêmica realizada em 2015 na FAU-UFRJ. O exemplo que se destaca no ensino de “geometria” é o *The Butterfly Gallery* (Figura 26) criado por iniciativa do PROARQ/FAU-UFRJ usando os recursos disponíveis no LAMO-3D – Laboratório da FAU-UFRJ. O pavilhão instigou a reflexão teórica e experimental sobre o “papel da geometria descritiva no contexto contemporâneo” (QUINTELLA; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2016, p. 323). As ferramentas de modelagem 3D utilizadas foram Rhinoceros e o *plugin* Grasshopper. O processo didático consistiu em *workshop* sobre desenho paramétrico, linguagem de programação e uso de algoritmos e, depois, são apresentadas técnicas de fabricação digital, principalmente corte a *laser*. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

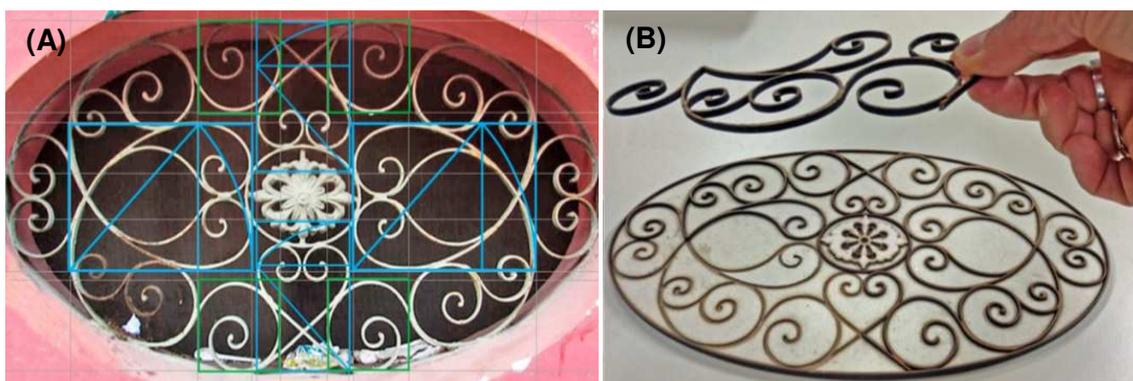
Figura 26 - Pavilhão *The Butterfly Gallery*



Fonte: <http://intervencoestemporarias.com.br/intervencao/butterfly-gallery/>

Borges et al. (2015) utilizaram artefatos metálicos de edificação de interesse patrimonial para realizar análises de geometria plana (entes geométricos, concordância, simetria e proporção), posteriormente, modelar, fazer o planejamento (definição do material e modo de montagem das partes) e corte das peças (Figura 27). O programa vetorial de modelagem usado foi o Autocad e o *software* para corte a *laser* foi o Laser CA. Esse experimento ocorreu na Universidade Federal de Pelotas, Brasil, e os autores destacam que este exercício aperfeiçoou o planejamento de métodos de representação digital, promoveu maior apropriação técnica para a reprodução de modelos físicos e reprodução de formas complexas, além de melhorar a compreensão das relações de proporção de elementos. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 27 - (A) Análise de proporção; (B) Modelo produzido por corte a laser



Fonte: Borges et al. (2015)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “geometria”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 8A consolida as experiências didáticas no ensino de “geometria” utilizando a plataforma BIM com o recurso tecnológico ‘Interação com o modelo e o projeto’. A predominância deste recurso tecnológico talvez se deva pela facilidade de utilização desse recurso em relação ao conteúdo que foi abordado. Adicionalmente, esse quadro evidencia os conteúdos de “geometria” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 8A - Consolidação das experiências didáticas – BIM no ensino de “geometria”

Conteúdo de “geometria”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Habilidades de desenho; Modelagem	Archicad	Delatorre, Pereira e Pupo (2013 apud DELATORRE, 2014)	UNOCHAPECÓ, Brasil
Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Perspectiva; Modelagem; Imagens virtuais.	SketchUp	Checcucci, Amorim e Pereira (2013)	Universidade Federal da Bahia, Brasil
Habilidades de desenho; Domínio da geometria Modelagem Imagens virtuais.	SketchUp e Revit	Pontes (2013)	Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Habilidades de desenho; Modelagem; Modelos; Imagens virtuais.	Revit 8.1	Florio (2007)	Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil
Habilidades de desenho	SketchUp	Vaz, Andrade e Silva (2011)	Universidade Federal do Paraná, Brasil

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 8B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “geometria” utilizando RA e PR. Esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “geometria” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas,

o autor, universidade e local do estudo. Percebe-se que houve uma predominância do recurso tecnológico ‘manipulação do modelo virtual’ em relação à RA e ‘testar / estudar a forma’ sobre PR/FD. Esse fato talvez se deva pela facilidade de utilização desses recursos com relação ao conteúdo que foi abordado.

Quadro 8B - Consolidação das experiências didáticas - RA, PR e FD no ensino de “geometria”

TIC	Recurso Tecnológico	Alternativas	Conteúdo de “geometria”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA	Manipulação do modelo virtual	Sem marcador	Domínio da geometria	Capacete e caneta interativa	Kaufmann et al. (2005 apud AMIM, 2007; LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007)	Universidade Técnica de Viena, Áustria
			Habilidades de desenho; Perspectiva	Livro, <i>QR Code</i> e aplicativo Augment.	Andrade, Goulart e De La Cruz (2017)	Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Brasil
			Modelagem; Imagens virtuais.	2013/2014: Metaio Creator, Metaio Cloud e aplicativo Junaio. 2014/2015: Unity 3d com Vuforia plugin, SDK e Rhinoceros3d.	Markusiewicz e Słyk (2015)	<i>Warsaw University of Technology</i> , Polônia
	Visualização do modelo	Por meio de marcador	Domínio da geometria	Marcador e sistema ARToolKit	Meiguins, Almeida e Oikawa (2006 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007)	Universidade Federal do Pará, Brasil
DART (<i>Designer's Augmented Reality Toolkit</i>), programa Macromedia Director MX, visualizador <i>Monitor Based AR</i> , computador e <i>webcam Creative</i> .				Lima, Haguenuer e Cunha (2007)	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil	
FD	Testar / Estudar a forma		Domínio da geometria Modelagem Modelos	Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
PR			Domínio da geometria; Maquetes; Modelos.	Autocad para modelagem e Laser CA para corte a <i>laser</i>	Borges et al. (2015)	Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Fonte: Autor

4.5 TICs no ensino dos conteúdos de “projeto”

Tecnologias de Informação e Comunicação são bastante exploradas no ensino da categoria “projeto”. As publicações encontradas na RSL sobre este assunto são descritas a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Uma das possibilidades oferecidas pelas TICs no ensino dos conteúdos de “projeto” foi explorada por Basto e Lordsleem Junior (2016) em um estudo que descreve e analisa uma experiência de ensino de BIM na disciplina de *Construction Project Management I* ministrada no *Arizona State University (ASU)*, EUA, em 2014. A disciplina possuía aulas teóricas, práticas e um trabalho final. De acordo com os autores (p. 53), as aulas teóricas apresentaram “conceitos de gerenciamento de projeto com a utilização da metodologia” BIM e “exemplos da utilização de diferentes usos do BIM pelos profissionais da indústria de AEC”. E para uma aplicação prática dos conhecimentos adquiridos com as aulas teóricas e com os programas ensinados nas aulas práticas, foi realizado o trabalho final da disciplina que consistia em desenvolver o planejamento da construção de uma clínica médica. Nesse trabalho, os alunos formaram grupos que representavam uma empresa fictícia e o professor era o proprietário fictício que transmitia as informações da construção. De acordo com os autores (p. 55), as equipes fizeram um Plano de Execução do Projeto BIM onde organizaram “deveres e responsabilidades dos integrantes do grupo”, ordenaram o “detalhamento dos elementos do modelo” e estabeleceram “estratégias para o controle de qualidade do modelo”. Em seguida, os grupos fizeram a Proposta de Projeto BIM que consistia em definir as intenções de construção da clínica e a abordagem do BIM para cada fase do gerenciamento do projeto. O trabalho promoveu a aplicação dos conhecimentos teóricos de gerenciamento de projeto aprendidos na disciplina, além de experiências com os *softwares* aprendidos. Recurso tecnológico: **planejamento da execução**. Alternativa: do projeto.

Ambrose (2012) expõe uma abordagem diferente sobre a incorporação do BIM em disciplinas de projeto. A experiência didática realizada em 2011 e 2012 na *University of Maryland*, EUA, compreendeu a distribuição de um modelo BIM completo aos alunos. Com posse desse modelo, na primeira fase, os alunos participaram de oficinas com profissionais (engenheiros, arquitetos e consultores) que desenvolveram o modelo e explicaram como ocorreu o processo de projeto e resolução de problemas ao longo do projeto. Dessa forma, os alunos não só se familiarizam com o modelo BIM, mas também aprenderam como um projeto arquitetônico real se comunica com outras disciplinas. Na fase seguinte, os estudantes apresentaram o que aprenderam e, depois, colaboraram com esses profissionais para fazer ajustes no projeto considerando um novo sistema estrutural o que demandou, conseqüentemente, ajustes no modelo de arquitetura e de outras disciplinas. Em seguida, os alunos foram instigados a imaginar uma nova fachada considerando aspectos ambientais e, novamente, isto exigiu ajustes no projeto e no modelo. Os autores frisam que o objetivo foi propor diferentes maneiras de explorar o

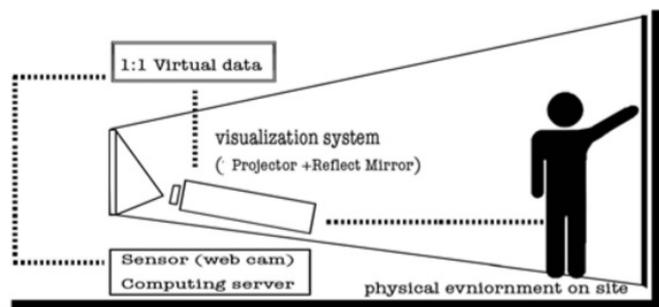
problema e não explorar apenas uma alternativa de ensino. De acordo com os autores (p. 65), essa é uma forma dos estudantes compreenderem o BIM além da ferramenta e o perceberem “como um meio para conceituar o desenvolvimento sistêmico de múltiplos processos de projeto a partir de diferentes perspectivas disciplinares”, além de desenvolver uma “avaliação crítica de seus efeitos e possibilidades na produção arquitetônica”. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Realidade Aumentada (RA)

Em sua pesquisa, Amim (2007) reuniu publicações que demonstraram a utilização de realidade aumentada em diferentes campos da arquitetura e urbanismo. Com relação às experiências didáticas que exploraram o uso de RA no ensino, o autor cita quatro casos que se enquadram na categoria “projeto”, que são descritos a seguir.

- (1) Em uma experiência acadêmica nas universidades *National Chiao Tung University* (NCT U) e *National Yunlin University of Science and Technology* (NYUST) em Taiwan, Chen e Chang (2006 apud AMIM, 2007, p. 80) utilizaram uma projeção interativa em escala 1/1 em que os alunos puderam aprender “o espaço usando essa ferramenta e tomem decisões interagindo com o sistema, em tempo real”. A projeção interativa é composta de um projetor, um espelho para aumentar a área de projeção e uma *webcam* para captar movimentos (Figura 28). Esse sistema projeta desenhos em escala real que podem ser modificados por um usuário por meio de gestos, como “fazer linhas, aumentá-las ou diminuí-las, desenhar quadrados, círculos, mover, duplicar, desenhar linhas irregulares, além de simular algumas texturas” (Figura 29). Essa abordagem foi utilizada para o ensino de projeto de interiores, porém também existe a possibilidade de ser usada em projeto de outras escalas. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual**.
- (2) Amim (2007, p. 82) cita um experimento realizado na *University of North Carolina*, EUA, em 2006 em que foi construído em escala real as superfícies de um ambiente projetado no meio digital com material poliuretano. E, então, o ambiente virtual foi projetado sobre as superfícies construídas e o usuário pôde interagir com o projeto modificando-o, bem como percebendo o espaço projetado em escala real (Figura 30). Esse tipo de experimento pode ser usado em discussões de projeto de interiores. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual**.

Figura 28 – Equipamentos que compõe a projeção interativa



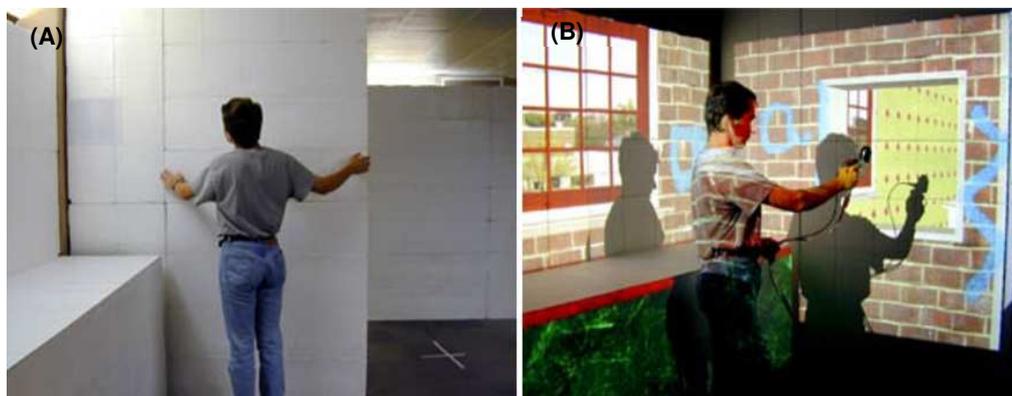
Fonte: Amim (2007, p. 81)

Figura 29 – Professor fazendo modificações no desenho em tempo real.



Fonte: Adaptado de Amim (2007, p. 81)

Figura 30 – (A) Blocos de poliuretano são construídos de acordo com o modelo digital; (B) Usuário interagindo com o ambiente virtual

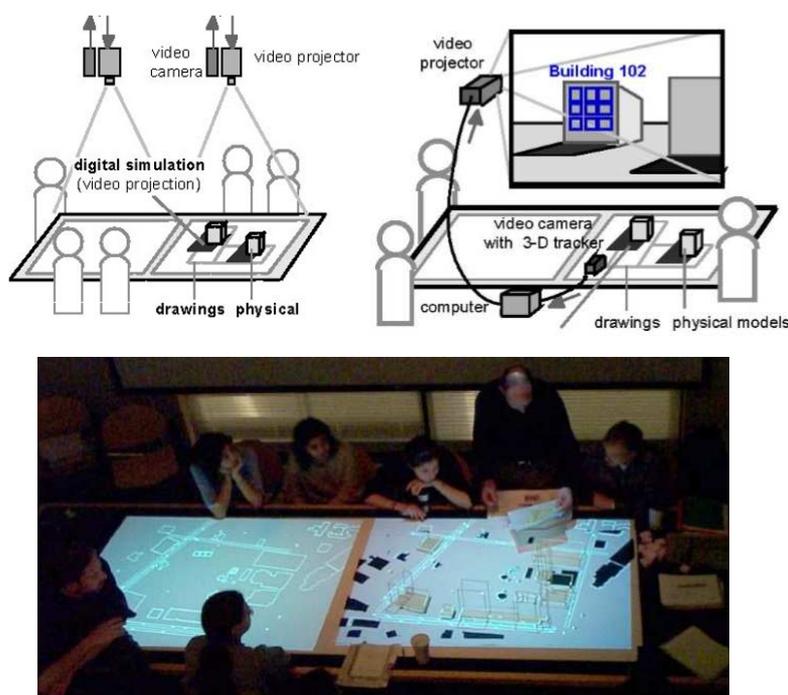


Fonte: Adaptado de Amim (2007, p. 82)

- (3) A mistura de TICs com materiais tradicionalmente utilizados na disciplina de projeto pode trazer uma nova percepção para o projeto, como é o caso do uso de RA na disciplina de Planejamento Urbano. Segundo Piper, Ratti e Ishii (2000 apud AMIM, 2007), os materiais usados no processo de projeto (desenhos 2D, maquetes e simulações digitais) podem ser colocados em uma mesa, chamada *Luminopus Table*. Nessa mesa, o computador reconhece as posições dos objetos e, então, simulações digitais são projetadas sobre os materiais como

sombras, simulação de tráfego, modelos 3D de edifícios, ruas e topografias. E a partir de uma câmera com rastreador de posição e um vídeo projetor são projetadas imagens aumentadas na parede da sala para interação da turma com os materiais posicionados na mesa. A Figura 31 ilustra a aplicação desse sistema. Apesar da imagem se referir à aplicação de Realidade Aumentada na aula de Planejamento Urbano, também existe a possibilidade de utilizar esse método em aulas de projeto urbano, de arquitetura e de paisagismo, já que é possível estudar a inserção de um projeto específico no contexto urbano. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: uso de ‘marcador ou GPS’ para relacionar o ‘projetado (virtual) e o construído (real)’ ou visualizar ‘textos, imagens e/ou vídeos informativos’.

Figura 31 – Realidade Aumentada sendo utilizada na disciplina de Planejamento Urbano.

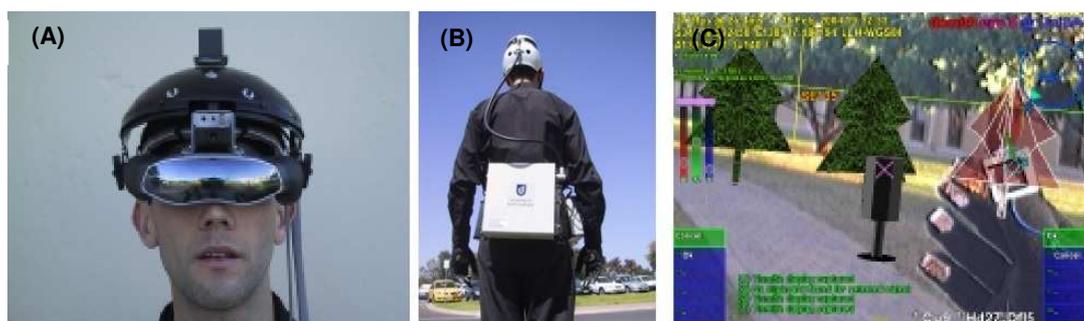


Fonte: Amim (2007)

- (4) Com o uso de vídeo capacetes leves, sistema GPS e uma vestimenta com computador, Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007, p. 84) realizaram uma experiência com os alunos da *University of South Austrália*, Austrália. Os alunos visualizaram, analisaram e projetaram uma edificação no campus da universidade em um ambiente externo (Figura 32). Com isso, os discentes “puderam ter a sensação de espaço, ajustaram medidas, definiram alturas, puderam constatar a contribuição dessa ferramenta, complementando a tecnologia CAD e libertando o projeto de somente representações 2D.” Esse experimento foi realizado a mais de dez anos e como a tecnologia avançou

desde então, em 2018 esse ensaio pode ser reproduzido com equipamentos menores e mais leves. Adicionalmente, este estudo pode ser utilizado em diferentes tipos de projeto (arquitetura, urbanismo, instalações e estrutura) facilitando a percepção do aluno em relação ao projeto que ele está criando. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual e relacionar o real com o virtual**. Alternativa do último recurso citado: uso de ‘marcador ou GPS’ para relacionar o ‘projetado (virtual) e o construído (real)’

Figura 32 – (A) Vídeo capacete; (B) Sistema móvel, computador e vestimenta; (C) usuário visualizando o ambiente real e virtual.



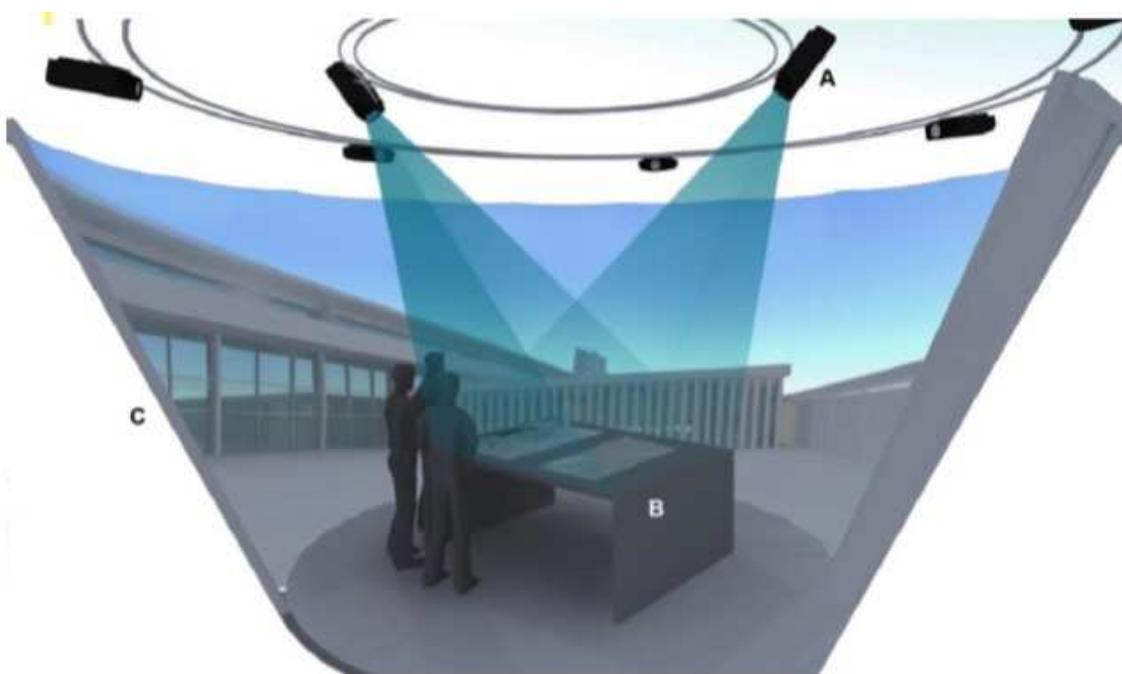
Fonte: Amim (2007, p. 85)

RA e RV

Milovanovic et al. (2017) desenvolveram uma plataforma chamada CORAULIS que combina realidade aumentada e virtual em um único ambiente para uso em discussões pedagógicas de projeto entre alunos e professor. Esse projeto foi criado por uma equipe da *L'École Nationale Supérieure d'Architecture nantes*, *L'Ecole Centrale de Nantes* e *Le Centre National de la Recherche Scientifique*, França. No CORAULIS, a RA é possibilitada por quatro projetores que exibem texturas em uma visão de cima para baixo no centro da plataforma (Figura 33). A RV é proporcionada por uma tela 360° e seis projetores que promovem uma imersão visual e auditiva, bem como uma visão em primeira pessoa do projeto do estudante. Tanto o ambiente de RA como RV possuem interface de interação do usuário com objetos de ambas representações e navegação no cenário caminhando, voando ou ativando camadas de simulação. A projeção das realidades aumentada e virtual partem da importação de um modelo 3D, e simulações simples também são geradas. Desse modo, os autores (p. 526, tradução nossa) descrevem o uso da plataforma em sala de aula: o aluno navega pelo projeto e “dentro do modo de navegação, os participantes verão um avatar movendo-se na projeção da mesa enquanto a visão da primeira pessoa está mudando de acordo com a posição do avatar no modelo virtual 3D” e acrescenta que “a eficiência da solução de projeto proposto pode ser discutida com base no elenco de sombras”, que são alteradas

instantaneamente conforme a configuração de dia e horário estabelecidas. Os autores comentam que essa plataforma está sendo construída e a previsão de conclusão é final 2017 a fim de pôr em prática essa experiência em sala de aula, e adicionam que a intenção do CORAULIS é centrada em representações para enriquecer a discussão de projeto mais do que promover a concepção durante a sessão. Contudo, eles acreditam que a visualização de múltiplos pontos de vista incorporados em um único ambiente físico com possibilidade de interação e navegação em RA e RV permitirá vantagens como apoio ao projeto colaborativo e facilidade na compreensão espacial individual em relação ao projeto. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

Figura 33 - (A) projetores (apenas dois são representados na imagem) para projeção da RA na mesa; (B) mesa com planos aumentados e maquete; (C) tela imersiva.



Fonte: Milovanovic et al. (2017)

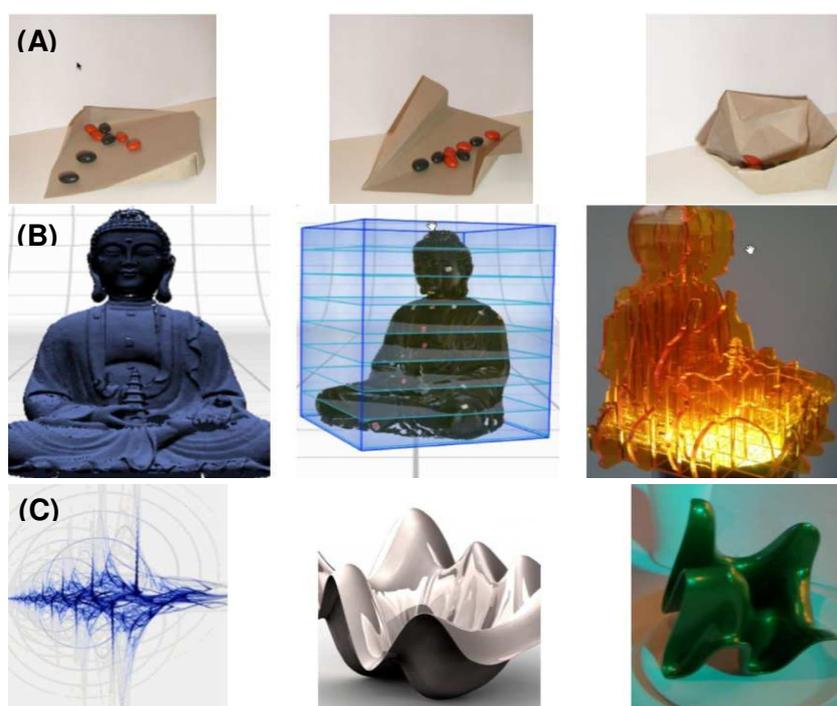
Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

A Prototipagem Rápida também pode ser utilizada no ensino de “projeto” conforme é demonstrado a seguir.

Por meio de uma prática criativa e exploratória, os alunos de Gu, Jones e Williams (2010) avaliaram, exploraram e selecionaram ferramentas de projeto digital e de prototipagem rápida que melhor se adequam ao tipo de projeto e a maneira de projetar. Em um semestre da disciplina de projeto na *University of Newcastle*, Austrália, os autores apresentam diferentes ferramentas de projeto das quais receberam foco o *scanner 3D*, *haptic pen*, máquina CNC, máquina FDM e cortador a *laser*. Foram adotadas três abordagens de projeto para apoiar o processo criativo baseado em

ferramentas digitais: interação física de projeto; interação física e digital; e interação digital de projeto. Os autores mostram peças produzidas pelos alunos que exemplificam cada uma das três abordagens citadas (Figura 34). A imagem A mostra três modelos de placa de jantar influenciada por técnicas de dobramento de origami que foram manipulados manualmente (interação física). O modelo final foi escaneado por um scanner 3D para criar o modelo digital que, por sua vez, foi impresso pela máquina FDM criando um protótipo. A imagem B exibe a escultura de Buda (interação física) que foi digitalizada para o aluno explorar técnicas de desconstrução do modelo digital (Interação digital). Neste modelo foram utilizadas técnicas de cortes em perfis horizontais e verticais e os perfis foram confeccionados no corte a *laser* para produzir o protótipo final. Por fim, a imagem C apresenta uma tigela criada a partir de ondas sonoras de uma música. As frequências foram destacadas, depois o aluno combinou a sequência no espaço 3D para criar a forma (interação digital) e, por último, fez a prototipagem da tigela. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 34 - (A) placa de jantar influenciado por técnicas de dobramento de origami; (B) Escultura que reflete o desconstrutivismo; (C) Tigela baseada em ondas sonoras de uma música.



Fonte: Gu, Jones e Williams (2010)

Celani et al. (2017) relatam uma experiência em ateliê de projeto de edifícios altos no 9º período da Universidade de Campinas, Brasil. Os autores adotaram o uso de prototipagem rápida para produção de maquetes nas etapas iniciais e finais da disciplina. Na etapa inicial foi solicitado que os alunos fizessem uma maquete na escala 1/1.000 da região escolhida e da proposta inicial, sendo esta última para ser inserida na

maquete urbana. As maquetes foram feitas com papelão ondulado cortado a laser. Na etapa final, as maquetes deveriam ser confeccionadas em escala ampliada para mostrar os detalhes de um elemento do edifício projetado pelo aluno, bem como sua articulação com outros elementos. Os autores (p. 47) comentaram que “a apresentação das maquetes ao longo de todo o processo de projeto permitiu que fossem discutidas questões relativas à implantação urbana e aos objetivos das estratégias projetuais adotadas, especialmente aquelas relativas ao partido estrutural” e também citam que a rapidez da produção da maquete urbana foi viável devido ao uso da cortadora a laser. Recuso tecnológico: **antecipar decisões**. Alternativa: de projeto.

Da mesma forma, Oliveira (2011) relata sobre visitas técnicas realizada à algumas universidades que utilizam prototipagem rápida e fabricação digital, entre elas estão a Universidade de Campinas, Brasil, em 2010 e *Architectural Association School of Architecture* (AA), Londres, em 2009. Em ambas as universidades a autora realça que os projetos desenvolvidos em disciplinas se destacam pelo uso de protótipos como ferramentas de projeto auxiliando no processo decisório volumétrico e construtivo, além da compreensão do funcionamento do processo de fabricação. A mesma autora (2011) e Oliveira e Fabrício (2009, p. 641) apontam que a dinâmica de ensino de disciplinas que usam tecnologia (PR e programas paramétricos) é a mesma dinâmica de uma disciplina tradicional, ou seja, “lança-se um tema, visita-se a área de intervenção para levantamentos, inicia-se a conceituação teórica e conceituação arquitetônica”. Contudo, a diferença no ensino se difere na fase de conceituação arquitetônica, uma vez que o uso de protótipos e programa paramétricos permitem uma “investigação formal mais complexa”, induzindo “a reflexão tectônica/construtiva do projeto” e o “processo decisório do projeto baseado na PR e nos modelos parametrizados”. Recuso tecnológico: **antecipar decisões**. Alternativa: de projeto.

Imbronito e Almeida (2015) descrevem a execução de *mock-up*¹³ de habitações mínimas projetadas pelos alunos do 1º ano da disciplina de ‘Introdução ao Projeto de Arquitetura e Urbanismo’ da Universidade São Judas Tadeu, Brasil. A estrutura do *mock-up* contou com montantes formados por sarrafos de madeira aparafusados e a vedação da habitação era feita por painéis de madeira (Figura 35). O objetivo final da construção do *mock-up* é fazer os alunos perceberem que o projeto é uma representação de algo que será construído, caracterizando-se como uma experiência material e construtiva de um projeto. Os autores (p. 292) destacam que “o modelo não é apenas utilizado como ferramenta de projeto. Através dele, é também possível desenvolver e experimentar o sistema construtivo, estabelecer a relação entre espaço

¹³ *Mock-Up*, segundo Imbronito e Almeida (2015, p. 292), é a “construção de um elemento material complexo em escala real”.

e matéria, e ainda perceber, sob os aspectos visual, tátil e espacial, o efeito do espaço em sua real dimensão”. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 35 - (A) estrutura do *mock-up*; (B) Painéis de madeira aguardando montagem; (C) *Mock-up* executado 1:1.



Fonte: Imbronito e Almeida (2015)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “projeto”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 9A consolida as experiências didáticas no ensino de “projeto” utilizando a plataforma BIM. Adicionalmente, esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “projeto” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 9A - Consolidação das experiências didáticas - BIM no ensino de “projeto”

Recursos tecnológicos	Alternativas	Conteúdo de “projeto”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Planejamento da execução	do projeto	Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando custo durabilidade e manutenção; Aspectos econômicos; Sistemas de infraestrutura	Revit, Navisworks Manage, Google Earth, SketchUp, Bluebeam Revu e Microsoft Management Project	Bastoe Lordsleem Junior (2016)	Arizona State University, EUA
Interação com o modelo e o projeto		História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Habilidades para realizar construções considerando durabilidade, manutenção, especificações	Não especifica qual ferramenta BIM foi usada.	Ambrose (2012)	University of Maryland, EUA

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 9B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “projeto” utilizando RA. Percebe-se que houve uma predominância do recurso tecnológico ‘manipulação do modelo virtual’ em relação à RA. Esse fato talvez se deva pela facilidade de utilização desses recursos com relação ao conteúdo que foi abordado.

Quadro 9B - Consolidação das experiências didáticas - RA no ensino de “projeto”

Recursos tecnológicos		Alternativas	Conteúdo de “projeto”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Manipulação do modelo virtual			Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Levantamentos topográficos.	Projetor, um espelho para aumentar a área de projeção e uma <i>webcam</i> com sensor para captar movimentos.	Chen e Chang (2006 apud AMIM, 2007)	<i>National Chiao Tung University</i> (NCT U) e <i>National Yunlin University of Science and Technology</i> (NYUST), Taiwan
			Conceber projetos de arquitetura	Placas de poliuretano, projetor e câmera com sensor	Amim (2007, p. 82)	<i>University of North Carolina</i> , EUA
			História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura; Planos de intervenção no espaço urbano; Levantamentos topográficos.	<i>Smartphone</i> ou <i>tablet</i> com um aplicativo de RA instalado e criado para o propósito da disciplina	Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)	<i>University of South Austrália</i> , Austrália
Relacionar o real com o virtual	Marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real)	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; Levantamentos topográficos.	<i>Luminopus Table</i> , câmera com rastreador de posição, vídeo câmera e vídeo projetor	Piper, Ratti e Ishii (2000 apud AMIM, 2007)	MIT, EUA
		Textos, imagens e/ou vídeos informativos				

Fonte: Autor

Igualmente, o Quadro 9C exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “projeto” utilizando RA com RV, PR e FD. Percebe-se que houve uma predominância do recurso tecnológico ‘testar / estudar a forma’ em relação à PR/FD. Esse fato talvez se deva pela facilidade de utilização desses recursos com relação ao conteúdo que foi abordado.

Quadro 9C - Consolidação das experiências didáticas – RA com RV, PR e FD no ensino de “projeto”

TIC	Recursos tecnológico Alternativas	Conteúdo de “projeto”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA e RV	Interação com ambiente virtual	História das artes e da estética; Aspectos antropológicos e Sociológicos; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.	CORAULIS: importação de modelos 3D e simulações.	Milovanovic et al. (2017)	<i>L'École Nationale Supérieure d'Architecture nantes, L'École Centrale de Nantes e Le Centre National de la Recherche Scientifique, França</i>
PR	Antecipar decisões de projeto	Conceber projetos de arquitetura e urbanismo; Urbanismo e desenho urbano; Planos de intervenção no espaço urbano.	Cortadora a <i>laser</i>	Celani et al. (2017)	Universidade de Campinas, Brasil
		História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo	Rhinoceros	Oliveira (2011); Oliveira e Fabrício (2009)	Universidade de Campinas, Brasil, e <i>Architectural Association School of Architecture (AA)</i> , Londres
	Testar / Estudar a forma	Conceber projetos de arquitetura	<i>Scanner 3D, haptic pen, máquina CNC, máquina FDM e cortador a laser</i>	Gu, Jones e Williams (2010)	<i>University of Newcastle, Austrália</i>
FD	Testar / Estudar a forma	Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando especificações.	Construção de <i>mock-up</i>	Imbroni e Almeida	Universidade São Judas Tadeu, Brasil

Fonte: Autor

4.6 Avaliação dos dados obtidos na RSL

Com relação ao universo explorado na Revisão Sistemática de Literatura, nota-se, no Gráfico 3, um equilíbrio entre as experiências realizadas no cenário nacional (22) em comparação com o cenário internacional (22). Entretanto, ao realizar uma análise por categoria pondera-se que a “geometria” foi mais explorada em experiências nacionais (10), enquanto “projeto” apresenta mais estudos internacionais (9). Já as categorias “construção” e “conforto ambiental” manifestam um certo equilíbrio na quantidade de experiências exploradas em ambos cenários.

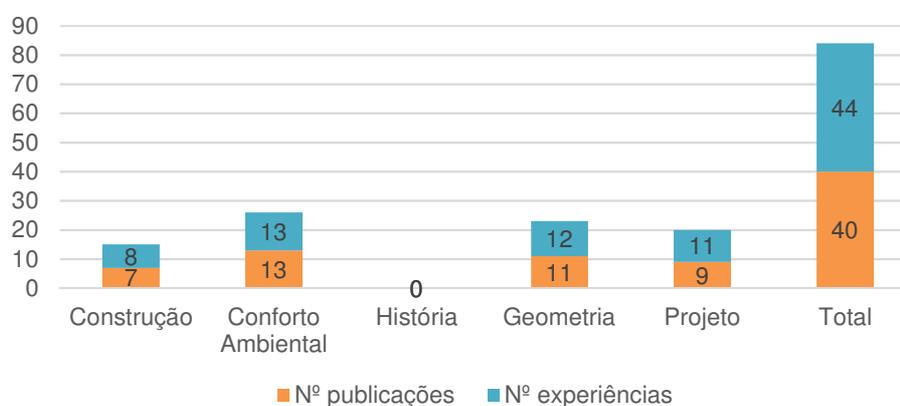
Gráfico 3 – Quantidade de experiências nacionais e internacionais



Fonte: Autor

Também se observa que os 40 trabalhos analisados apresentaram 44 experiências de utilização das TICs no ensino de arquitetura e urbanismo, conforme pode ser observado no Gráfico 4. A categoria que mais explorou as alternativas oferecidas pelas ferramentas digitais, conforme levantamento realizado, foi “conforto ambiental” (13), seguida de “geometria” (12), “projeto” (11) e “construção” (8). No universo analisado não foi encontrada nenhuma experiência de uso de BIM, RA, RV, PR ou FD no ensino de “história”, salvo questões específicas da área do saber ‘Estética e História das Artes’, que pertence a categoria “projeto”.

Gráfico 4 - Número de publicações x número de experiências exploradas por categoria.

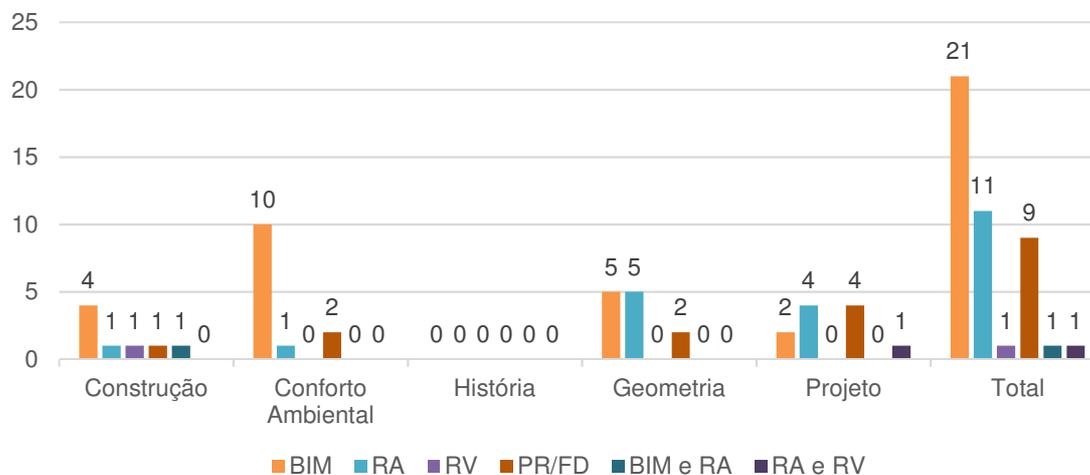


Fonte: Autor

Em relação às 44 experiências extraídas do estudo, o Gráfico 5 detalha a quantidade de experiências didáticas relacionadas à adoção das TICs para cada categoria analisada. Nota-se que a categoria “construção” apresentou ao menos uma experiência para cada tecnologia, já “conforto ambiental” contém mais experiência com BIM (10) e nenhuma com RV. Aliás, Realidade Virtual só apareceu em uma experiência didática de “construção” e uma experiência de “projeto” com uso em conjunto com RA. Isso demonstra que existe uma área de pesquisa a ser explorada e isso pode ser

comprovada por Milovanovic et al. (2017) que destacam a falta de publicações sobre usos de realidade virtual relacionado ao projeto arquitetônico e ao ensino.

Gráfico 5 – Quantidade de TICs por categoria



Fonte: Autor

Com relação às TIC mais recorrentes, em primeiro lugar está o BIM (21), seguindo de RA (11), PR/FD (9) e em último lugar RV (1), BIM e RA (1) e RA e RV (1). O destaque recebido pelo BIM talvez se deva pelo desdobramento da tendência mundial de implementação dessa plataforma na indústria da construção civil, bem como pela grande quantidade de *softwares* que a plataforma possui e o fato dela compreender cada etapa do ciclo de vida da edificação.

A respeito dos recursos tecnológicos, as 44 experiências listadas empregaram 11 recursos tecnológicos diferentes, representando distintos modos de utilizar TICs no ensino. Os 11 recursos citados nesse capítulo foram:

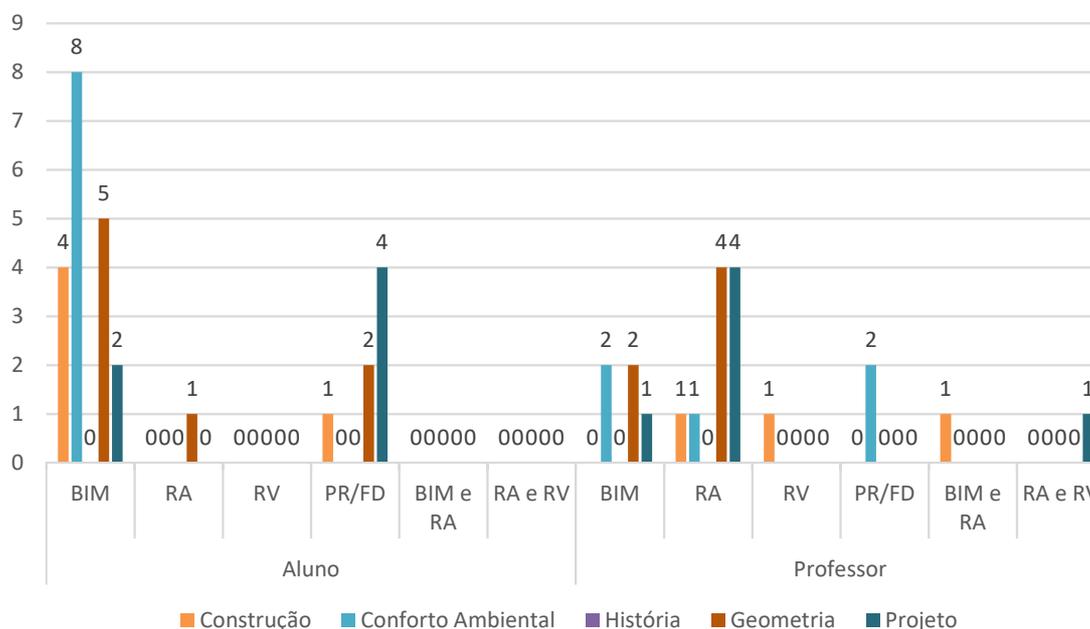
- BIM: (1) simulação do modelo – categoria: “conforto ambiental”;
- (2) visualização do modelo e do projeto – categoria: “construção”;
- (3) planejamento da execução – categoria: “construção” e “projeto”;
- (4) interação com o modelo e o projeto – categoria: “construção”, “geometria” e “projeto”;
- (5) verificação de incompatibilidades e projeto – categoria: “construção”;
- RA: (6) manipulação do modelo virtual – categoria: “geometria” e “projeto”;
- (7) visualização do modelo – categoria: “geometria”;
- (8) [RA e BIM com RA] relacionar o real com o virtual – categoria: “construção”, “conforto ambiental” e “projeto”;
- RV e RA com RV: (9) Interação com ambiente virtual – categoria: “construção” e “projeto”;
- PR e FD: (10) Antecipar decisões – categoria: “projeto”;
- (11) Testar/Estudar a forma – categoria: “construção”, “conforto ambiental”,

“geometria” e “projeto”;

As publicações citadas tanto apresentam casos em que o professor utiliza uma ferramenta para ensinar um conteúdo, como os alunos usando ferramentas para aprender conhecimentos trabalhados pelo professor. Vale destacar que o uso de *softwares* nas aulas não tem o objetivo de ensinar os alunos a mexerem nos programas, e sim de partir do produto que essas ferramentas oferecem para auxiliar a aprendizagem em sala de aula e, também, instigar os interessados a estudarem e aprofundarem seus estudos nesses *softwares*.

Assim, verificou-se nas experiências analisadas quais TICs requeriam o desenvolvimento prévio do professor para realizar uma atividade em aula e quais TICs demandavam empenho do aluno. Os resultados dessa análise encontram-se no Gráfico 6 que demonstra que experiências com BIM requerem tanto empenho dos professores quanto dos alunos. Já Realidade Aumentada e Realidade Virtual dependem de um trabalho prévio do professor. Agora, a Prototipagem Rápida e Fabricação Digital normalmente necessitam de esforço do aluno com as TICs. Vale frisar que a definição de quem dedicará mais tempo de uso da ferramenta depende do tipo de abordagem didática escolhida pelo professor, bem como o tipo de disciplina, conteúdo que será tratado e da TIC escolhida.

Gráfico 6 – Tecnologias que necessitam desenvolvimento prévio do professor e empenho do aluno.

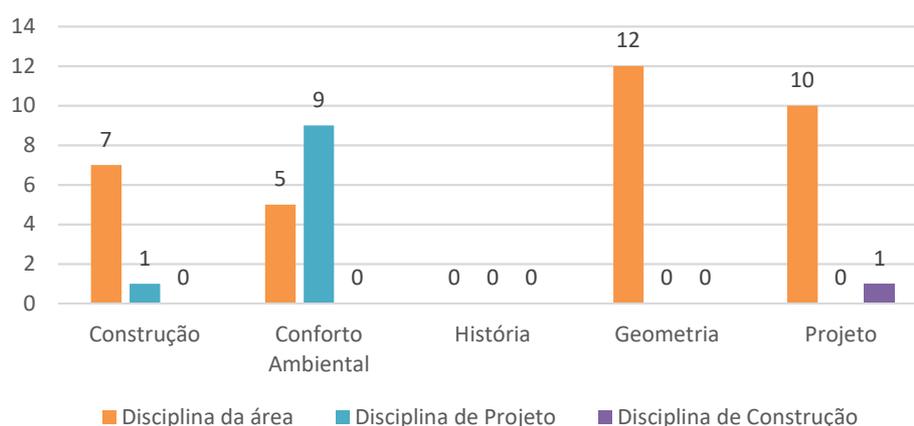


Fonte: Autor

A respeito das disciplinas que abordaram o ensino dos conteúdos de cada categoria, verifica-se que os conteúdos de “construção”, “geometria” e “projeto” foram ensinados nas disciplinas correspondentes a própria área de conhecimento (Gráfico 7).

Entretanto, grande parte das publicações que tratam do ensino de “conforto ambiental” são abordadas durante a disciplina de projeto (9), enquanto 5 experiências foram tratadas em disciplinas de conforto ambiental. Acredita-se que isso ocorra pela experimentação prática proporcionada pela atividade de projeto na aplicação de conteúdos abstratos, como os de “conforto ambiental”. Com isso, percebe-se que existe um campo a ser mais explorado que trata sobre ensino de “conforto ambiental” usando TICs na própria disciplina de conforto ambiental.

Gráfico 7 – O conteúdo de arquitetura foi ensinado em qual disciplina?



Fonte: Autor

4.7 Considerações sobre o capítulo

Resgatando os princípios de planejamento didático abordado no capítulo 1, entende-se que a adoção das ferramentas digitais no ensino de arquitetura é uma decisão a ser tomada pelo professor, uma vez que é necessário repensar o planejamento do ensino ponderando em que momento, qual conteúdo, qual TIC e com qual finalidade a tecnologia será utilizada. A intenção desse capítulo foi de mostrar experimentos didáticos com uso de TICs já explorados por docentes, ou seja, apresentar meios viáveis e testados de uso de tecnologia no ensino de arquitetura de modo a incentivar os professores a incluírem o uso de tecnologia no planejamento do ensino.

Alguns autores comentaram em suas avaliações sobre as experiências didáticas que os alunos se demonstraram motivados quando a tecnologia foi aplicada ao ensino. Isso comprova o que foi apresentado na seção 2.3.1 que fala sobre a motivação e a curiosidade causada pela tecnologia. Conforme Braga et al. (2012) citam na seção 2.3.1, a tecnologia causa fascínio nas pessoas e age como um catalisador do interesse pelos estudos.

A Revisão Sistemática de Literatura revelou que todas as TICs foram utilizadas em experiências didáticas como um meio de ensinar os conteúdos de arquitetura e

urbanismo, com exceção de “história”. Conforme dito anteriormente, apesar da categoria “história” não ter sido explorada em experiências didáticas no universo estudado, essa área do curso de arquitetura exibe grandes potencialidades de uso de TICs que serão apontadas no capítulo 5.

Finalmente, pelo montante de publicações encontradas sobre cada TIC em cada categoria, constata-se que a utilização de TICs em certas categorias é mais evidente do que outras. Entretanto, as TICs abordadas nessa dissertação possuem potencial de serem aplicadas em todas as categorias do ensino de arquitetura e urbanismo como será evidenciado no capítulo a seguir.

Cabe acrescentar que o levantamento realizado não teve por objetivo esgotar todas as experiências didáticas adotadas em relação às ferramentas digitais, mas levantar subsídios que permitissem a comprovação do objetivo da proposta dessa pesquisa, ou seja, explorar as possibilidades oferecidas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo. Nesse sentido, admite-se a existência de outras publicações além daquelas apresentadas neste levantamento, o que não diminui a relevância dos resultados obtidos para a pesquisa proposta.

POSSIBILIDADES POUCO EXPLORADAS DE ADOÇÃO DAS TICs NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo representa a etapa 4 da pesquisa que permitiu vislumbrar um panorama de possibilidades a serem utilizadas pelos professores no curso de arquitetura e urbanismo. Com isso, foram propostas formas pouco exploradas de incluir tecnologias nas práticas didáticas dos docentes.

O capítulo foi organizado em seções que equivalem às categorias definidas em 2.2.2. Sendo que houve o acréscimo de uma seção (seção 5.6) que reúne alternativas de uso das TICs em mais de uma categoria dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

O método de pesquisa utilizado para desenvolver esse capítulo foi a revisão de literatura sem meta-análise, que aborda sobre diferentes aplicações de TICs no campo da arquitetura e urbanismo. Esses artigos foram encontrados em diferentes bases de dados durante buscas que ocorreram ao longo da pesquisa de mestrado, e outras publicações foram detectadas durante a pesquisa de RSL do capítulo 4. Os textos demonstram diferentes usos das TICs que podem ser adaptados e aplicados no meio acadêmico. Entretanto, é importante destacar que essa pesquisa não esgota todas as possibilidades de integração das tecnologias nas áreas de conhecimento de arquitetura e urbanismo, visto que a autora não teve acesso a todas as experiências realizadas e, também, pelo fato da tecnologia avançar rapidamente e, dessa forma, surgirem novas oportunidades de aplicação de TICs no ensino.

Cada alternativa de uso de TIC apresentada ao longo do texto (seções 5.1 a 5.6) foi atribuída a um modo de utilizar a tecnologia, que foi chamado nessa pesquisa de **recurso tecnológico**. Certos recursos tecnológicos apresentam diferentes maneiras de serem explorados, que foram denominados nesse estudo como **'alternativas'**. Assim, a partir dos recursos tecnológicos, a seção 5.7 exibe uma consolidação das possibilidades pouco exploradas proporcionadas pelo BIM, RA, RV, PR e FD no ensino de arquitetura e urbanismo.

5.1 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “construção”

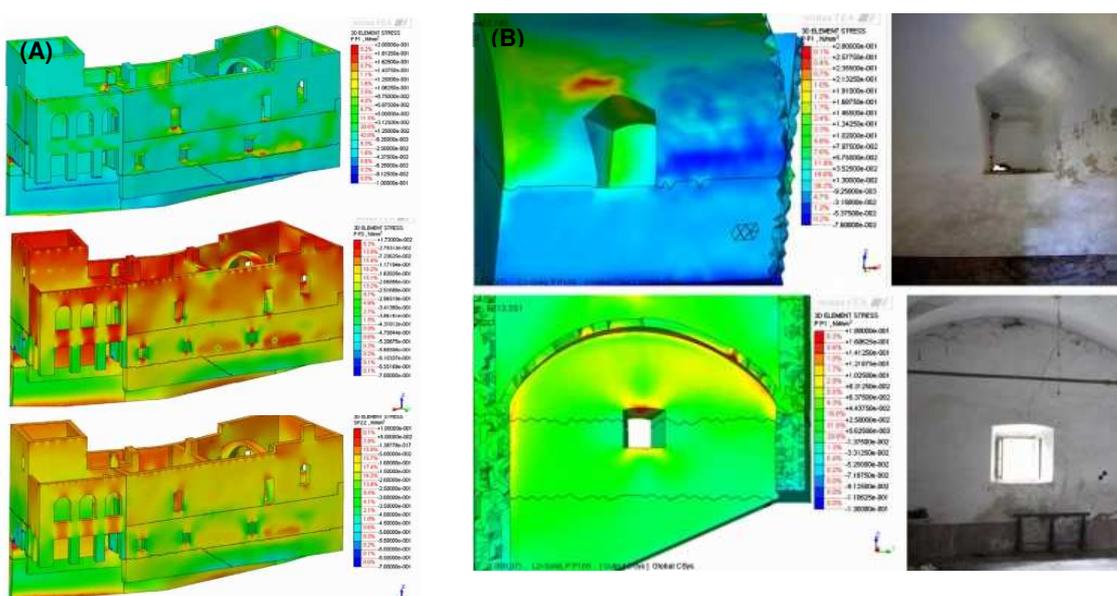
Existem possibilidades pouco exploradas no ensino de ‘tecnologia da construção’ e ‘sistemas estruturais’ por meio de TICs, conforme serão apresentadas a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Entre as Tecnologias de Informação e Comunicação ligadas à “construção”, a plataforma BIM se destaca, pois ela prevê a construção digital da edificação, ou seja, a construção virtual com informações geométricas e não geométricas da edificação que será construída, e não apenas a construção de uma maquete eletrônica (EASTMAN, 2014). Como consequência disso, é preciso ter o domínio das tecnologias construtivas e sistemas construtivos para criar um modelo BIM.

Sabendo disso, Barazzetti et al. (2015) relatam a integração de um modelo BIM com simulação estrutural. Os autores partiram de uma nuvem de pontos provenientes de escaneamento a *laser* de uma edificação histórica para criar um modelo BIM que, depois, gerou uma malha 3D FEM (*Finite Element Model*). Em seguida, os autores realizaram uma análise estrutural comparando fissuras existentes no local com a simulação, e analisaram o estresse em todo o edifício (Figura 36). Levando esse experimento para o ensino de “construção”, o professor pode demonstrar e analisar o resultado de uma simulação estrutural fazendo associação com as propriedades físicas, térmicas e mecânicas dos materiais (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018). E também consegue verificar o comportamento de uma edificação a partir do uso de diferentes sistemas estruturais, além de testar diferentes traços de concreto e verificar sua resistência à compressão e tração e, da mesma forma, analisar a escolha de diferentes tipos de fundação em relação às características do solo. Assim, para essa dissertação, o recurso tecnológico e a alternativa proporcionados por essa possibilidade receberam o nome de **simulação do modelo** e simulação estrutural, respectivamente.

Figura 36 - (A) análise do estresse em todo o edifício; (B) análise comparando fissuras existentes com fissuras do local.



Fonte: Barazzetti et al. (2015)

Outra possibilidade proporcionada pelo BIM é o uso de aplicativos BIMx ou A360 que podem ser utilizados em sala de aula para viabilizar a compreensão de projetos de fôrma, armação e instalações prediais devido a sua facilidade de migração de uma planta baixa ou corte para o modelo 3D (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018). O recurso tecnológico dessa possibilidade se chama **visualização do modelo e do projeto**.

Ademais, por meio de *softwares* BIM de planejamento 4D e 5D, o docente pode ensinar sobre logística do canteiro de obras, composição do orçamento de uma obra, planejamento e controle de obras. Além disso, vídeos produzidos nesses programas também podem ser utilizados para explicar as etapas de montagem e a evolução do orçamento da obra ao longo do tempo (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018). Recurso tecnológico: **planejamento da execução do projeto e obra**. Alternativas: logística do canteiro de obras, etapas de construção, controle de custo e controle de prazo.

Realidade Aumentada (RA)

Também existem alternativas pouco exploradas do uso da realidade aumentada no ensino de disciplinas ligadas à categoria “construção”. Assis, Brochardt e Andrade (2016, p. 664-665) descrevem sobre três soluções para uso de RA em canteiro de obras, são elas: (a) utilização de marcadores impressos; (b) *markless tracking* – tecnologia que dispensa marcadores, o usuário posiciona o “dispositivo de modo a coincidir a geometria virtual com a geometria do espaço físico, utilizando essa informação inicial para permitir a posterior movimentação do modelo” -; e (c) *Markless Augmented Reality (MAR)* – sistema que também dispensa marcadores, uma vez que lê “a geometria do modelo através do processamento de imagens capturadas por uma câmera simples”, “qualquer parte do ambiente real pode ser usada como marcador, a fim de localizar o modelo”. Por meio dessas soluções de uso de RA, o professor de “construção” pode realizar uma visita ao canteiro de obras com apoio de RA ou até mesmo usar RA em uma construção finalizada – por exemplo, o próprio edifício da universidade - para mostrar a comunicação entre as instalações prediais e sua relação e posicionamento em relação a arquitetura, estrutura, exaustão, etc. Com isso, os alunos visualizam o que está por trás das paredes o que possibilita a compreensão de como diferentes instalações se comunicam e como podem conflitar durante o desenvolvimento de projeto. Além disso, o aplicativo de RA pode exibir informações dos materiais que foram utilizados na construção, pode destacar a estrutura do edifício, bem como as cargas e esforços internos da estrutura. No caso da visita ser feita em um canteiro de obras também existe a opção de lecionar sobre organização de obras e canteiros. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

BIM e RA

Devido ao avanço da tecnologia, o cenário descrito acima torna-se cada vez mais palpável com a criação de tecnologias como o capacete chamado *DAQRI Smart Helmet*. Este capacete refere-se a um sistema de RA que acessa o modelo BIM e instantaneamente sobrepõe o modelo à construção real em obra ou finalizada, como se o capacete permitisse uma visão raio-x da construção (MORTICE, 2017).

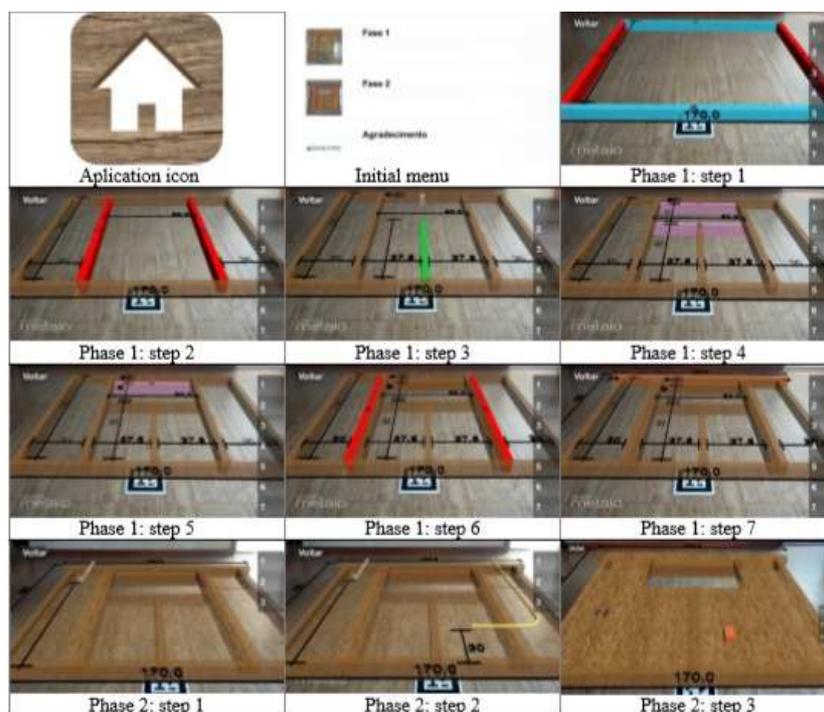
Outra alternativa ao ensino de “construção” é o uso associado de BIM com realidade aumentada. Cuperschmid, Grachet e Fabrício (2016) desenvolveram um aplicativo de RA chamado “montAR” em conjunto com instruções em áudio para funcionar como um tutorial na montagem de uma parede pré-fabricada em *wood-frame* para instalação de cada etapa da construção (Figura 37). O modelo tridimensional usado no aplicativo foi um modelo BIM e as etapas do processo de montagem foram definidas no recurso “*Phasing*” do Revit. Ademais, as dimensões e o quantitativo das peças da parede foram extraídas desse modelo. Essa experiência pode ser executada no ensino de “construção”. Após uma aula teórica, os professores de “construção” podem utilizar a realidade aumentada para realizar ensaios em laboratório onde os alunos possam vivenciar a construção de um trecho de uma edificação. O ensaio pode ser realizado com materiais reais de uma construção como concreto e tijolo, ou não, de modo que os alunos não só aprendam sobre técnicas e sistemas construtivos, mas também sobre materiais de construção e resistência dos materiais. A mesma experiência serve para estudar instalações e equipamentos prediais, sistemas estruturais e estabilidade das construções de maneira que a realidade aumentada guiará a montagem da construção de forma didática, contribuindo para a apropriação dos conteúdos ensinados, sem falar no envolvimento que a tecnologia gera nos alunos e pode proporcionar à essa atividade. Recurso tecnológico: **tutorial para ensaios em laboratório.**

Realidade Virtual (RV)

Entre as alternativas de aplicação de realidade virtual, Bryson (1991-93 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 24) expressa que ambientes virtuais permitem uma interação com interfaces 3D para “investigação de fenômenos [...] por meio de modelos gráficos detalhados e interativos”. Partindo dessa proposta e migrando para campo acadêmico, ambientes virtuais podem ser gerados para visualizar as propriedades dos materiais de construção, fazendo os alunos perceberem as diferenças na resistência desses materiais. Outra possibilidade seria a visualização de forças atuantes nos sistemas estruturais de uma edificação, objetivando a compreensão do funcionamento das estruturas e proporcionando o entendimento sobre concepção de projetos estruturais, estabilidade das construções e auxiliando na escolha das

fundações mais adequadas para cada tipo de solo e edificação. Do mesmo modo, também é possível criar para uma mesma edificação diferentes sistemas construtivos a fim de que os alunos avaliem qual sistema seria o mais adequado para o cenário criado e que tivesse menos custo na execução. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais**.

Figura 37 - Aplicativo "montAR": ícone, menu inicial e os passos para montar a parede



Fonte: Cuperschmid, Grachet e Fabrício (2016)

Outro exemplo de uso de RV foi descrita por Netto, Machado e Oliveira (2002) ao mencionar dois autores, Bajura (1992) e Hand (1994), que abordam sobre a utilização dessa tecnologia em equipamento de ultrassom que combinam imagens tridimensionais dos órgãos internos com imagens obtidas do ultrassom convencional. Levando esse experimento para o campo da arquitetura e urbanismo, é possível criar um ambiente virtual onde o professor use a RV como uma atividade lúdica para os alunos aprenderem sobre processos construtivos em um cenário que simule o local de construção (LEAL; SALGADO, SILVOSO, 2018) mesclando imagens tridimensionais virtuais com imagens reais de uma edificação. Essa experiência imersiva permite a avaliação da qualidade das soluções construtivas adotadas em um cenário fictício (LEAL; SALGADO, SILVOSO, 2018). Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais**.

Netto, Machado e Oliveira (2002, p. 26) citam outros dois autores, Dupont (1994) e Vince (1995), que descrevem o uso de RV pela empresa automobilística Volvo que possui "ambiente virtual para simular colisões dos seus veículos com diversas barreiras

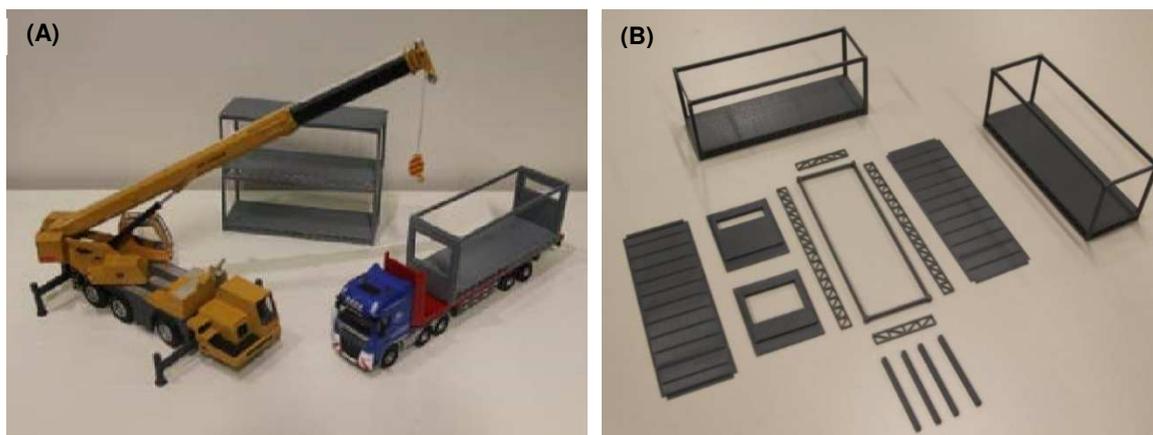
e obstáculos, e posteriormente fazer uma análise dos sistemas de proteção contra este tipo de situação”. Seguindo este raciocínio, o professor pode gerar simulações para avaliar o comportamento de edificações sob efeito de terremotos, ventos fortes, enchentes e outras situações adversas, além de testar a forma que a construção se comporta em caso de demolição e, em seguida, fazer alterações na estrutura prevenindo sua demolição. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais**.

Adicionalmente, Grilo et al. (2001, s.p.) acrescentam que ambientes imersivos com “percursos interativos permitem um nível de compreensão do projeto superior ao das representações bidimensionais ou dos modelos tridimensionais”. Dessa forma, os projetos de instalações prediais e de estrutura poderiam ser melhor compreendidos pelos alunos se o professor realizasse uma experiência com RV combinando a visualização tridimensional dos componentes da edificação com a visualização bidimensional utilizada em planta e/ou corte para, assim, entenderem o que os desenhos 2D representam na edificação construída. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto**.

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outra possibilidade de ensino de “construção” refere-se ao uso de prototipagem rápida. Carvalho et al. (2017) elaboraram uma proposta de planejamento de obra para construções modulares fazendo associação entre construção modular, BIM 4D e prototipagem rápida. Com relação a PR, foram criados módulos que compõem uma edificação na escala 1/50, além de caminhões e guindastes na mesma escala para ajudar no entendimento do transporte, içamento e montagem da construção (Figura 38). Com resultados do experimento, os autores (p. 12) relataram que “a prototipagem rápida se mostrou como um recurso muito útil para experimentações da montagem na construção modular, permitindo reflexões, discussões e ações cognitivas que contribuíram para o desenvolvimento do planejamento pela equipe”. Usando essa perspectiva, a PR pode ser utilizada para a compreensão de técnicas e sistemas construtivos modular e/ou convencional variando de acordo com os protótipos que forem desenvolvidos para serem trabalhados em aula. Do mesmo modo, outros protótipos como fundações, diferentes sistemas estruturais, instalações e equipamentos prediais podem ser desenvolvidos para auxiliar na apropriação de conteúdos ensinados. Também é possível criar protótipos para estudar a organização de obras e canteiros bem como a implantação de infraestrutura urbana. Ou seja, a prototipagem rápida oferece oportunidades de o aluno visualizar, manipular, compreender e se apropriar de diferentes conteúdos de “construção”. Recurso tecnológico: **antecipar decisões**.

Figura 38 (A) Fluxo de transporte dos módulos; (B) Prototipagem rápida da estrutura de um módulo na escala 1:50



Fonte: Carvalho et al. (2017)

Seguindo o mesmo raciocínio, Leal, Salgado e Silvano (2018) acrescentam que o protótipo também pode ser usado para facilitar a compreensão das etapas do processo construtivo, como por exemplo, demonstrar como ocorre a montagem da armação e da fôrma em uma obra. Adicionalmente, em uma experiência de canteiro experimental, os alunos podem imprimir o protótipo do projeto que estão desenvolvendo a fim de testar a montagem das peças antes de executá-lo em escala real. Recurso tecnológico: **antecipar decisões.**

Rodrigues, Pinto, Rodrigues (2010, p. 83) descrevem a metodologia de ensino de sistemas estruturais, na disciplina 'Modelagem dos Sistemas Estruturais', na FAU-UFRJ no ano de 2010. Uma das atividades realizadas trata do desenvolvimento de projetos de sistemas estruturais e construção de modelos físicos de modo que os alunos possam interagir e observar esses modelos (Figura 39). O objetivo dessa atividade é adquirir "sensibilidade ao estudo de equilíbrio, tensões e deformações causadas por esforços de tração, compressão, flexão e torção, associadas aos elementos que compõem o seu projeto". Outra forma de realizar esse experimento seria o uso de máquinas CNC para criar protótipos com materiais rígidos e flexíveis para o estudo do comportamento da estrutura. Esses protótipos tanto poderiam ser confeccionados pelo professor para ser utilizado como um modelo didático durante a aula, como pelos próprios alunos de modo a criarem diferentes modelos estruturais. Recurso tecnológico: **antecipar decisões.**

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de "construção" serão apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

Figura 39 - Estudantes manipulando modelos



Fonte: Rodrigues, Pinto, Rodrigues (2010)

5.2 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”

Essa seção apresenta formas pouco exploradas de incluir tecnologias nas práticas didáticas dos docentes que lecionam conteúdos da categoria “conforto ambiental”.

Building Information Modeling (BIM)

“Conforto ambiental” é uma das áreas exploradas pelos *softwares* de análise de desempenho energético e, também, por *softwares* de simulação da plataforma BIM. Sobre este último, Eastman et al. (2014) afirmam que a conexão entre o modelo BIM e ferramentas de simulação computacional permitem uma avaliação do desempenho da construção durante as fases iniciais do projeto, o que não é possível com ferramentas 2D tradicionais que demandam uma análise separada ao final do processo de projeto, reduzindo as oportunidades de modificações e, conseqüentemente, de eficiência da edificação. Os mesmos autores (p. 18) acrescentam que “a capacidade de vincular o modelo da construção a vários tipos de ferramentas de análise proporciona diversas oportunidades para melhorar a qualidade da construção”.

Sobre os *softwares* de simulação, Wu e Clayton (2013) relatam que esses programas geralmente utilizam apenas informações geométricas do modelo, desconsiderando as oportunidades trazidas pelas informações não geométricas incorporadas nos modelos BIM. Com base nisso, esses autores criaram um protótipo de *software* acústico que utiliza como base dados extraídos de um modelo BIM. Como resultado, o protótipo demonstrou ser capaz de extrair os dados necessários do modelo do Revit (materiais de acabamento e a absorção em várias frequências, fonte de som, público e geometria), analisar a frequência da fonte sonora e obter o resultado da

simulação em poucos minutos. Além disso, atualizações feitas no Revit foram ressimuladas imediatamente. Com base nesse protótipo, a plataforma BIM pode ser usada para auxiliar o professor na explicação do conteúdo a partir de modelos tridimensionais com simulações dos efeitos sonoros em diferentes propostas de implantação para o mesmo projeto. Permitindo, dessa forma, uma melhor percepção do aluno em relação ao impacto que suas escolhas de projeto - implantação, setorização, materiais, etc. – irão interferir na percepção do usuário. A utilização em sala de aula de um protótipo semelhante ao dos autores – que extrai informações geométricas e não geométricas de um modelo BIM - permite que os alunos visualizem e compreendam com mais facilidade conteúdos abstratos de acústica como: entendimento de reverberação; frequência; fonte de som; e compreender os efeitos que diferentes geometrias e materiais de construção causam na acústica do ambiente. Dessa forma, tornando-se mais claro e prático a aplicação de conhecimentos acústicos no cotidiano de projeto. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**.

BIM e Realidade Aumentada (RA)

Outra possibilidade no ensino de “conforto ambiental” é a utilização da realidade aumentada. Essa TIC pode ser utilizada para auxílio no processo de projeto conforme foi demonstrado por Paula (2015). A autora enumerou diferentes programas gratuitos para celular, *smartphone*, *tablet* e *notebook* que contribuem para análise de conforto térmico e luminoso e podem auxiliar os alunos na disciplina de conforto ambiental e projeto. Entre os programas relacionados ao objetivo desta pesquisa se destacaram Sun Surveyor e Sun Seeker para análise do conforto térmico utilizando RA; e SketchUp e FormIt para conforto luminoso utilizando a plataforma BIM. Segundo a mesma autora, o programa Sun Surveyor e Sun Seeker registra o posicionamento do Sol com uma bússola 3D e mapa interativo, e Sun Surveyor também mostra o posicionamento da Lua. O SketchUp permite a “configuração da posição do sol, visualização de efeitos de luz e sombra, importação de imagens de satélite e a instalação de plugins”, como o Sun Tools, que adiciona “informações sobre a trajetória do sol ao longo do ano, facilitando a análise geométrica da insolação” (p. 53). Já o FormIt manipula e modela formas geométricas pela tecnologia *touchscreen* e permite importar imagens de satélites e explorar efeitos do sol com a ferramenta de sombra (PAULA, 2015). Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual (RA)** e **simulação do modelo (BIM)**.

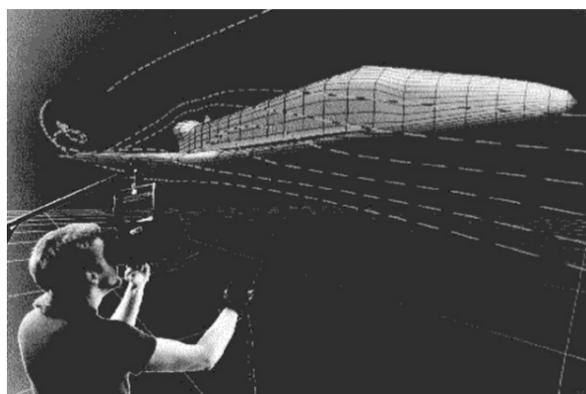
O aplicativo Skope desenvolvido por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) e apresentado na seção 4.1 pode ser usado tanto para o ensino dos conteúdos de “construção” como para “conforto ambiental”. Isto se deve pela possibilidade do aplicativo permitir interagir com parâmetros como orientação, entorno, direção de ventos

predominantes, sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação possibilitando, assim, seu uso em disciplinas que tratam sobre “conforto ambiental”. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual.**

Realidade Virtual (RV)

Sobre realidade virtual, Bryson (1993 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 24) aborda sobre o projeto desenvolvido pela *NASA Ames Research Center* que representou um túnel de vento em um ambiente virtual “com todas as características técnicas de um modelo similar real” permitindo “a visualização e a simulação 3D de fluxos de fluidos instáveis, a partir valores calculados de velocidade, energia e pressão” (Figura 40). De modo semelhante, esse tipo de experimento pode ser desenvolvido com alunos de “conforto ambiental”, proporcionando uma melhor visualização de ventos dominantes em relação a uma edificação, melhorando a percepção de ondas sonoras e seus rebatimentos em diferentes materiais, visualizando a relação entre a absorção de calor por alguns materiais, além de facilitar o entendimento da interferência dos raios solares dentro da edificação em diferentes épocas do ano. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais.**

Figura 40 - Túnel de vento virtual desenvolvido pela NASA.



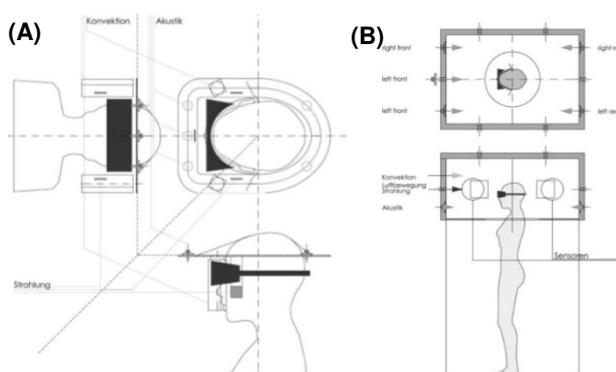
Fonte: Ressler (1997 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002)

Por meio de simulação em RV, de acordo com Grilo et al. (2001), o usuário consegue recriar a iluminação solar em diferentes posições e, com isso, gerar uma animação em tempo real para analisar os efeitos da insolação e das sombras na construção. Desse modo, simulação em ambientes imersivos podem ser utilizadas para o ensino de condições climáticas, lumínicas e energéticas. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais.**

Outro exemplo do uso de RV foi exemplificado por Seiler, Koch e Both (2015) que desenvolveram dois experimentos imersivos que combinam efeitos visuais, acústicos, olfativos, climáticos e híbridos como objetivo de demonstrar que mudanças

intensas do ambiente podem ser detectadas por outros sensitivos humanos além da visão. O primeiro experimento consiste em vidros de vídeo avançados com transmissores auditivos, de calor, de frio e de movimento de ar; e no teste feito o usuário se localizada em uma sala virtual com várias janelas e conforme elas se abriam a pessoa era exposta a diferentes influências ambientais e ruídos (movimento do ar de diferentes direções, intenso calor radiante, mudança da temperatura da superfície, movimento intenso do ar e mudança de umidade) (Figura 41). Já o segundo é uma sala de projeção em escala 1/5 composta por paredes perfuradas para ventilação, seis aberturas para montagem de diferentes tipos de transmissores além de transmissores auditivos. Partindo dessa proposta, esse modo de interação sensorial poderia ser utiliza em sala de aula para demonstrar conteúdos que abordem sobre avaliação dos impactos no meio ambiente, condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas. Contudo, para que os alunos experimentem esse tipo de interação é necessário a construção de um protótipo igual ou semelhante ao proposto pelos autores. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais.**

Figura 41 - (A) Desenho do projeto dos vidros de vídeo avançados; (B) Desenho do projeto da sala de projeção.



Fonte: Seiler, Koch e Both (2015, p. 82)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outra alternativa para o ensino de “conforto ambiental” utilizando TICs é o uso de prototipagem rápida. Segundo Braida et al. (2014, p. 889), maquetes físicas (ou analógicas) podem ser utilizadas em análises de conforto ambiental e ergonomia desde a fase de concepção até a fase de avaliação pós-ocupação. E complementam que na análise de conforto ambiental é possível obter dados quantitativos através de sensores instalados dentro do modelo e, também, dados qualitativos por meio de “fotômetros que registram fotos da posição dos raios solares e os problemas de reflexão e ofuscamento durante todas as estações do ano” ou pelo heliodon (BRAIDA et al., 2014, p. 889) para

realizar análises da posição do sol em relação a edificação. Esse tipo de análise também pode ser feito em maquetes geradas a partir de prototipagem rápida para serem utilizadas em sala de aula, que além de proporcionar maior precisão do modelo físico, também produz modelos em menos tempo. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma.**

Os mesmos autores compararam medições realizadas em maquetes físicas em laboratório de conforto ambiental com os resultados obtidos em modelos virtuais feitos no programa Google SketchUp. Apesar dos autores (p. 891) observarem que maquetes virtuais são produzidas com mais agilidade do que maquetes físicas, eles defendem que a produção de modelos digitais “não propicia a manipulação tátil e o mesmo processo cognitivo alcançado com as experimentações envolvendo modelos físicos.”

Shimomura, Frota e Celani (2010) realizaram estudos de ventilação urbana por meio de modelos físicos em túnel de vento e eles (s.p.) apontam que “são raros os relatos de execução de maquetes para experimentos em túnel de vento com técnicas de prototipagem rápida”, apesar dessa técnica ser comumente empregada na produção de modelos nos Estados Unidos. Da mesma forma, Pupo (2009) relata que a empresa Rowan Williams Davies & Irwin (RWDI) também utiliza maquetes confeccionadas a partir de prototipagem rápida para testes em túnel de vento. A maquete sai da máquina com furos dos pontos de pressão (*pressure taps*) precisamente posicionados para os testes. E essa tecnologia de PR poupa “de ter que, manualmente, furar e colar cada sensor, tarefa quase impossível em edifícios com as proporções” que produzem. Um dos engenheiros especialistas da empresa diz que “com a automação das técnicas de modelagem e a fusão das duas tecnologias, de *software* e de prototipagem rápida, a empresa tem aumentado a eficiência em aproximadamente 15% em tempo, muito menor que o usual.” (PUPO, 2009, p. 139). Logo, a partir do relato desses autores (SHIMOMURA; FROTA; CELANI, 2010; PUPO, 2009), acredita-se que a conciliação entre a utilização de protótipos e testes em túnel de vento usando sensores poderia trazer proveito para o ensino sobre o impacto da ventilação no ambiente urbano e em uma edificação. Recurso tecnológico: **testar a forma.**

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “conforto ambiental” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.3 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “história”

A categoria “história” é uma área que exhibe grandes potencialidades de uso de TICs no ensino, contudo é um campo ainda pouco explorado pelos docentes, segundo

o universo pesquisado na RSL realizada no capítulo anterior. A seguir são apresentadas algumas possibilidades de uso de BIM, RA, RV, PR e FD no ensino de “história”.

Building Information Modeling (BIM)

A modelagem da Informação da Construção é uma das tecnologias que pode ser utilizada no ensino dos conteúdos de “história”. Em sua dissertação, Canuto (2017) reconstruiu digitalmente o edifício Palácio Gustavo Capanema no Rio de Janeiro por meio do *software* Archicad criando um modelo BIM com base no conceito HBIM. Como forma de preservação da memória do edifício, a autora disponibilizou o modelo gratuitamente pelo aplicativo BIMx que pode ser baixado no *tablet* ou *smartphone*. Este modelo pode ser usado como uma alternativa para o ensino de “história” a partir de um passeio virtual pelo modelo 3D e pelo projeto, de modo que os alunos revivam o processo de concepção da obra, realizem o estudo e análise das soluções modernistas adotadas na construção, bem como façam estudos de possíveis soluções de preservação, conservação e reutilização da edificação. Com isso, os alunos passam a entender o espaço construído de uma forma que não está disponível nos livros didáticos. Essa possibilidade de uso do BIM no ensino de “história” não se restringe a esse modelo do Palácio Gustavo Capanema, uma vez que a mesma ideia pode ser aplicada a outras construções e modelos BIM. E vale destacar que outros modelos BIM podem ser criados tanto visando uma aplicação acadêmica como objetivando a preservação digital do patrimônio histórico. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

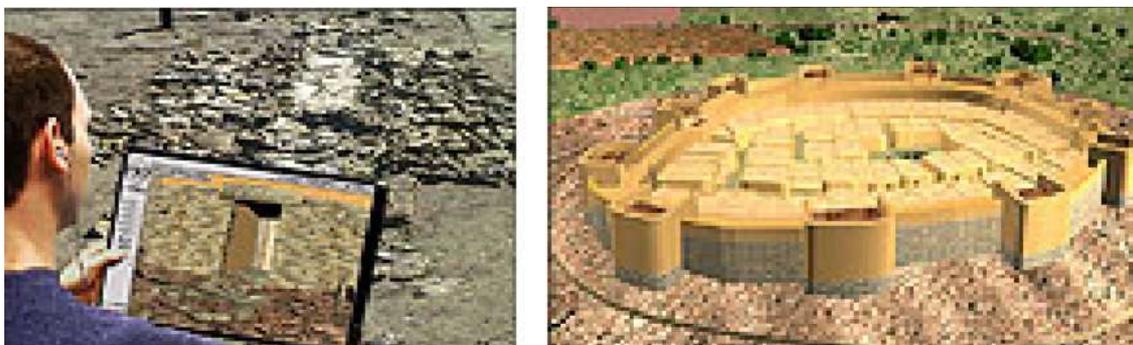
Realidade Aumentada (RA)

Em relação ao ensino de “história”, é possível usar realidade aumentada em uma visita guiada com *tablet* ou *smartphone* onde o aluno pode comparar a ruína existente com construções de outras épocas (Figura 42). Além disso, informações adicionais - como vídeos, textos, modelos 3D - podem ser sobrepostas ao modelo virtual esclarecendo o que está sendo visto pelo *tablet* (AMIM, 2007). Segundo o mesmo autor (p. 92), esse mesmo uso também “pode servir de base para projetos na área estudada”. Adicionalmente, a RA não fica restrita a visualização de uma edificação, ela também pode ser utilizada para visualizar centros urbanos e paisagísticos, bem como interagir com pinturas e esculturas. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Além da alternativa apresentada anteriormente, a realidade aumentada também pode ser empregada no ensino por meio de marcadores ou *QR codes* de forma que os alunos podem dar zoom e manipular o modelo tridimensional não apenas quando tiverem na sala de aula, mas também em casa ou na rua (Figura 43). Dessa maneira, os estudantes podem compreender o espaço construído e a história associada à

edificação, além de ser uma forma dinâmica e de baixo custo de implantação (RIMKUS; GALVÃO, 2013). Cada marcador pode representar uma época da construção ou apresentar o espaço interno, fachadas e entorno. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual**.

Figura 42 - Modelo digital de reconstituição de uma ruína.



Fonte: site da GRIHO (2001 apud AMIM, 2007, p.92)

Figura 43 - Realidade aumentada por meio de marcador.

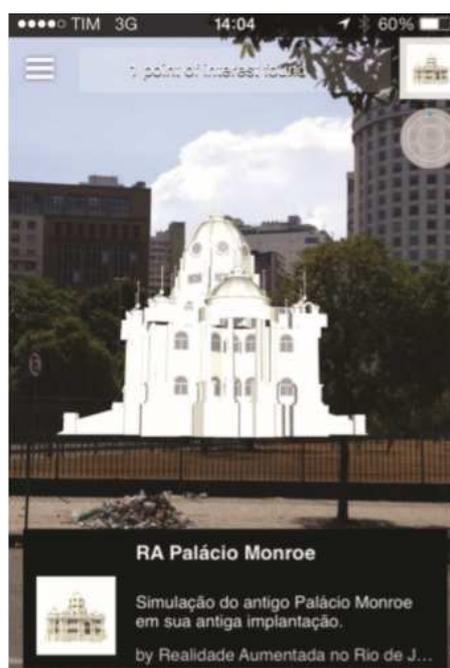


Fonte: Rimkus e Galvão (2013)

Uma experiência apresentada por Medeiros e Paraizo (2015) diz respeito ao uso de RA para visualizar uma edificação de valor histórico, que foi demolida, no local que esteve construída. O caso apresentado pelos autores foi do Palácio Monroe, Rio de Janeiro, e as ferramentas utilizadas de acesso gratuito e sem necessidade de conhecimento de programação foram *FeedGeorge Augmented Reality Plug-in* e aplicativo Layar. Os autores georreferenciaram o modelo de modo que o usuário de posse de um *smartphone* ou *tablet* consegue visualizar o palácio no local que existiu desde que se mantenha uma distância máxima de 500m do centro de onde estaria o edifício (Figura 44). Por meio dessa alternativa, os professores poderiam realizar uma aula caminhando pela cidade visualizando, estudando e compreendendo construções históricas que não existem mais. Além disso, também é possível visualizar a configuração urbana de outras épocas e comparar com a atual. Os autores (p. 174) destacam que para esse caso de uso de RA no espaço urbano “não existe a mesma

liberdade para se escolher pontos de vista como em um ambiente completamente virtual; e que, além disso, a quantidade de elementos no espaço urbano atrapalha a visualização” do modelo. E continua acrescentando que “estas limitações, no entanto, são fruto da própria presença do observador na cidade, acrescentando à percepção do objeto os diversos matizes e nuances do espaço urbano real”. Assim, essa forma de uso de RA se configura como outra alternativa de uso de tecnologia no ensino dos conteúdos de “história”. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Figura 44 - Visualização do Palácio Monroe em realidade aumentada a partir da Rua Mestre Valentim.

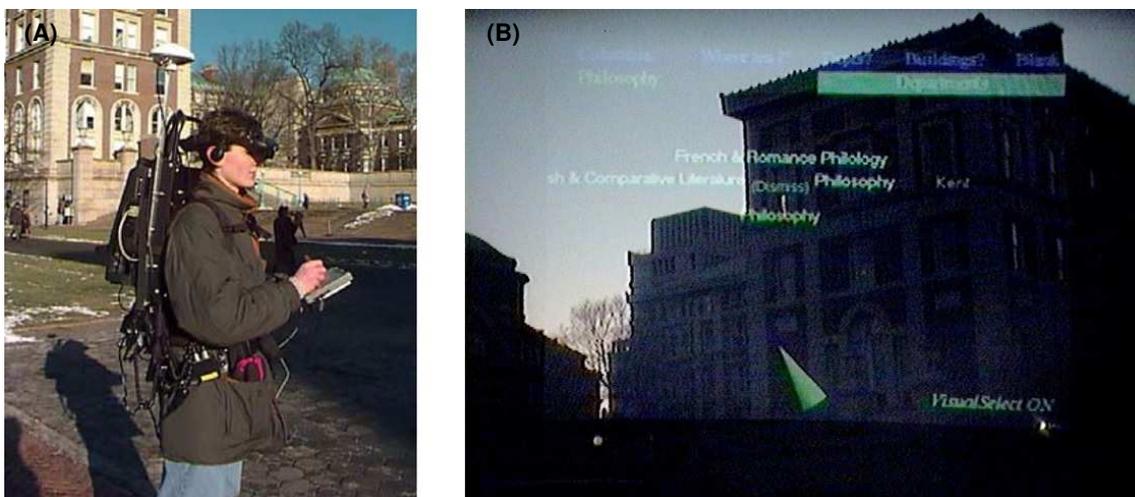


Fonte: Medeiros e Paraizo (2015)

Outra possibilidade de uso de RA foi descrita por Feiner et al. (2003 apud AMIM, 2007). Os autores tratam do uso de RA como um sistema de informação ajudando o usuário a buscar lugares, obter informações sobre uma edificação de seu interesse e sobre a história do local. O experimento foi colocado em prática com a associação de um computador, internet móvel, videocapacete e GPS (Figura 45). Em 2018, esses equipamentos poderiam ser substituídos por um *smartphone* ou *tablet* que condensam todas essas tecnologias em um único aparelho pequeno e de fácil transporte e manipulação. Com relação ao ensino de “história”, esse experimento pode ser utilizado em uma visita a um local de importância histórica onde os alunos conseguiriam explorar a cidade e as edificações por meio de um aplicativo de RA. Esse modo de uso de RA contribui não apenas para o ensino de teoria e história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo, mas também para o aprendizado sobre soluções tecnológicas para a

preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Figura 45 - (A) Usuário com o sistema de RA; (B) visão aumentada com informações sobrepondo a edificação.



Fonte: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm (apud AMIM, 2007, p. 91)

Realidade Virtual (RV)

A realidade virtual também é uma alternativa de uso de TIC no ensino dos conteúdos de “história”. Moura (2017) utilizou a realidade virtual para reconstruir virtualmente um bem patrimonial tombado (Palacete *Fellet* em Juiz de Fora, MG) que em 2017 encontra-se em ruína. Na experiência imersiva, a autora permite que o usuário interaja e circule livremente pela edificação virtual escolhendo para onde quer olhar e se deslocar. Do mesmo modo, a RV pode ser utilizada no ensino dos conteúdos de “história” a partir da análise e visita de um bem tombado antes de sua demolição, permitindo que o aluno experimente os ambientes da edificação a partir da interação com o espaço e com autonomia ou não de se movimentar virtualmente pela edificação. Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

Seguindo o mesmo raciocínio, Eliseo et al. (2009) discutiram uma metodologia que visa a preservação digital do patrimônio por meio de modelagem computacional. Contudo, as ideias dos autores podem ser aproveitadas para o ensino de “história”. Dessa forma, a realidade virtual pode ser empregada no ensino através da “navegação virtual de espaços modelados tridimensionalmente” com “acesso às informações adicionais relativas aos espaços e objetos, usando uma linha do tempo”. Isto permite “a navegação nos modelos de acordo com a cronologia do edifício, identificando o período e suas características, inserindo assim o objeto num contexto espacial-temporal” (ELISEO et al., 2009, p. 172). Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

Outra maneira de utilizar a RV é através da CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), espaço que possui telas onde são projetadas imagens em três dimensões. Com o uso de joystick e óculos de realidade virtual com sensor de presença, os usuários conseguem visualizar, caminhar e interagir com o ambiente 3D. A Figura 46 mostra um exemplo de CAVE. No Rio de Janeiro, existem CAVEs desenvolvidas por laboratórios ligados ao curso de engenharia na UFRJ e na PUC-Rio, entretanto, o curso de arquitetura poderia se beneficiar desses equipamentos na medida em que os alunos poderiam participar de uma experiência imersiva, por exemplo, durante o ensino de “história”. Desse modo, a aula pode acontecer dentro da CAVE onde são projetadas edificações históricas, cidades, pinturas e esculturas proporcionando aos alunos uma experiência imersiva. Nessa experiência, os estudantes presenciariam o que o professor está explicando, sem a necessidade de imaginar como seria aquele local, edificação ou arte. Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

Figura 46 - CAVE construída pelo Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE) da COPPE UFRJ localizada na Ilha do Fundão.



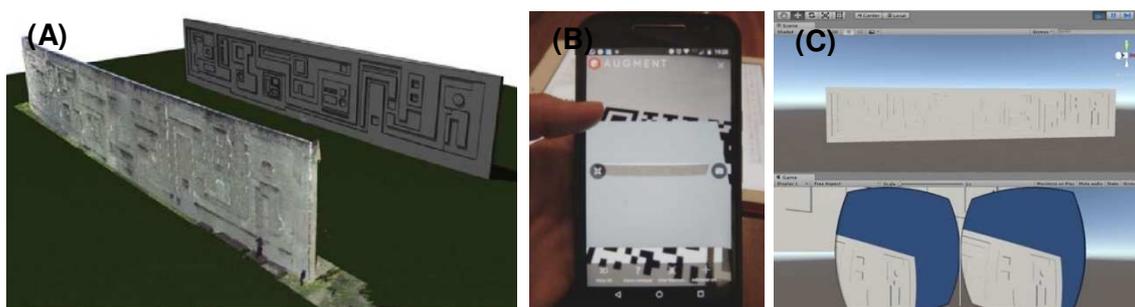
Fonte: https://www.facebook.com/pg/grvalamce/photos/?ref=page_internal

BIM, RA e RV

Canuto, Moura e Salgado (2016) apresentaram maneiras de utilizar BIM, RA e RV na preservação do patrimônio histórico que podem ser replicadas para o ensino de “história”. A partir do escaneamento a *laser* e fotogrametria do painel da FAU-UFRJ, do levantamento CAD 2D e da busca pela documentação existente desse painel, as autoras tiveram acesso a uma nuvem de pontos que foi exportada para o *software* BIM Archicad e permitiu a criação de um modelo BIM fidedigno ao painel construído, com desvio máximo de 20mm (Figura 47). E, então, foram feitos outros experimentos com este modelo BIM utilizando realidade aumentada e realidade virtual. Com relação a RA,

foi utilizado o aplicativo Augment que acessa o modelo por meio de um *QR Code* permitindo, segundo as autoras (p. 261), “visualização e manipulação da modelagem *in loco*”. Já a RV foi criada com o programa Unity 3D e possibilitou a vivência do espaço modelado. Em suma, as autoras trataram de diferentes formas de explorar e visualizar um monumento a partir do uso integrado de BIM com RA e RV. Da mesma forma, essas diferentes maneiras de visualização podem ser exploradas pelo professor no ensino dos conteúdos de “história”. Os professores tanto podem utilizar um edifício histórico como um todo para lecionar sobre a história da arquitetura, como utilizar a modelagem de centros urbanos para explicar a história das cidades, como por exemplo, o plano de Cerdá para Barcelona, bem como apenas usar a modelagem de trechos de um edifício para ensinar sobre os diferentes estilos históricos das construções. Complementarmente, o modelo BIM pode ser utilizado como forma de apresentação e estudo de construções, já para se beneficiar da RA ou RV os modelos tridimensionais podem ser BIM ou não. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual** (BIM e RA) e **passeio virtual** (BIM e RV).

Figura 47 - (A) Modelo do painel FAU-UFRJ, em nuvem de pontos e BIM; (B) RA utilizando o aplicativo Augment; (C) Modelagem inserida no motor de jogos e programada para visualização em óculos de RV.



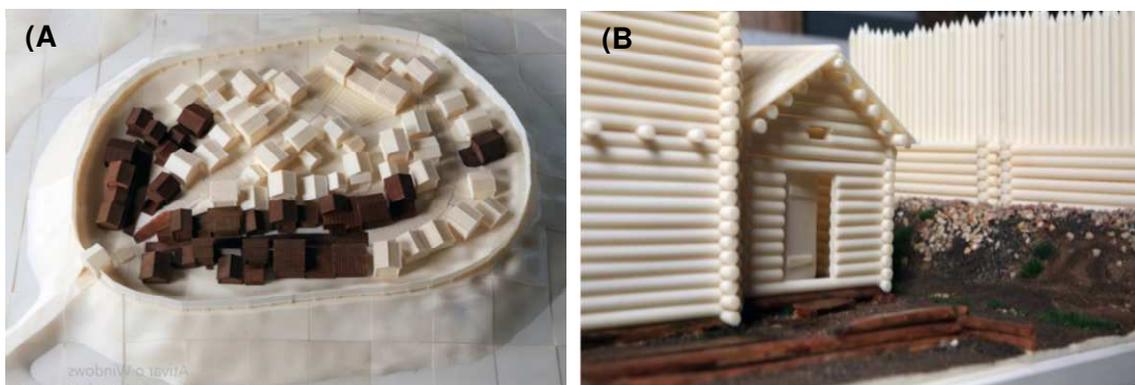
Fonte: Canuto, Moura e Salgado (2016)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outro uso de TIC no ensino dos conteúdos de “história” é proporcionada pela prototipagem rápida. Em seu estudo, Kowal et al. (2015) desenvolveram a reconstrução virtual do complexo medieval de assentamentos de madeira em Pultusk, Polônia, entre os séculos XIII-XIV com a ajuda de arqueólogos. Além dos modelos virtuais, os autores imprimiram em 3D o modelo urbano e arquitetônico do complexo para realizarem estudos (Figura 48). Tais protótipos além de promoverem uma forma de conservação do patrimônio cultural, também se tornam um meio de divulgação do conhecimento. Assim, protótipos de construções antigas podem ser utilizados no ensino de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo como forma de estudar a tipologia arquitetônica das construções, bem como compreender melhor a morfologia urbana e

sua evolução ao longo do tempo. Adicionalmente, podem ser feitos estudos sobre práticas projetuais adotadas e suas soluções. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma.**

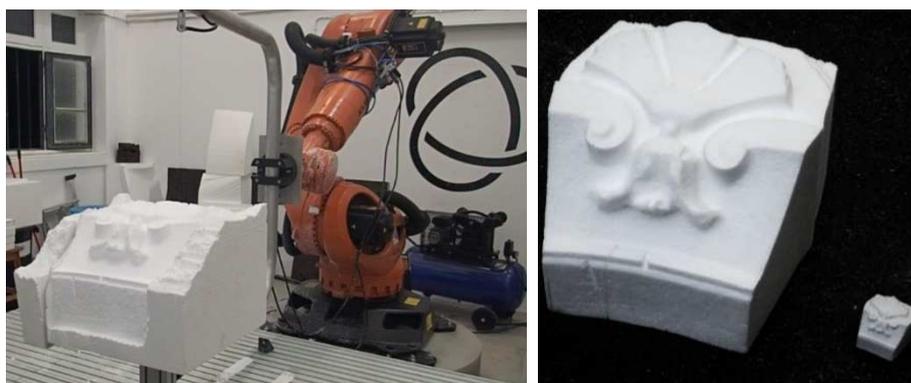
Figura 48 - Impressão 3D do (A) modelo urbano do complexo medieval em *Pultusk*, Polônia, na escala 1/100; (B) modelo arquitetônico das cabanas de *Pultusk* na escala 1/20.



Fonte: Kowal et al. (2015)

Varela e Sousa (2015) geraram protótipos em escala 1/10 e 1/2 visando a reconstrução de um trecho da porta principal do Palácio Episcopal do Porto, Portugal, como teste para uma substituição hipotética desse elemento (Figura 49). Seguindo o mesmo raciocínio, a PR pode ser utilizada no estudo da forma e da configuração externa de um elemento arquitetônico ou de um edifício. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma.**

Figura 49 - Protótipos em escala 1/2 e 1/10 de um trecho da porta do Palácio Episcopal do Porto, Portugal.



Fonte: Varela e Sousa (2015)

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “história” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.4 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “geometria”

“Geometria” refere-se a outro campo da arquitetura e urbanismo que apresenta possibilidades pouco exploradas de uso de TICs no ensino conforme será visto a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Existem possibilidades ainda pouco exploradas do uso de BIM no ensino de disciplinas ligadas à “geometria”. Borges (2016a) trata sobre o desenvolvimento de competências de representação gráfica em uma experiência com uso de um programa paramétrico, de modo a identificar aspectos relacionados ao ensino de expressão gráfica e sua interação com o processo de projeto em um curso de engenharia mecânica. Seguindo esse raciocínio, o professor pode usar a visualização tridimensional do modelo BIM e a documentação de projeto para ensinar desenho de arquitetura, mostrando o que cada representação simboliza no modelo, bem como princípios de perspectiva. A demonstração pode ser feita pela própria interface de *software* BIM de arquitetura como por aplicativos como BIMx ou A360. Sobre isso, Checcucci (2014, p. 182) alerta que além da representação, o “modelo será utilizado para diversas outras atividades [...]”. Neste sentido, é importante que o estudante tenha consciência sobre os usos futuros do modelo de forma a poder participar do contexto amplo do BIM no ciclo de vida da edificação”. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Em sua pesquisa, Checcucci (2014, p. 190) sugere

o ensino-aprendizagem das normas, da criação das diferentes pranchas da edificação e do desenho técnico pode ser realizado diretamente utilizando um programa BIM, pois além de permitirem a representação precisa da edificação também agregam outros recursos de desenho, similares aos que os programas CAD tradicionais (editores de desenho - 2D e modeladores geométricos - 3D) apresentam.

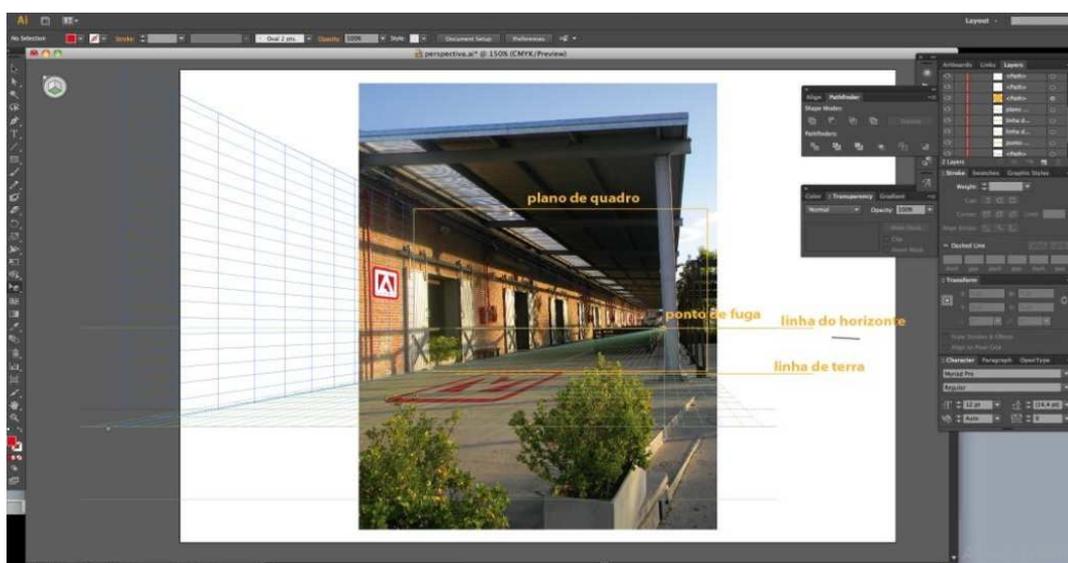
Além da alternativa de ensinar habilidades de desenho, conforme citado acima, o professor também pode utilizar programas BIM para ensinar modelagem e desenvolvimento de imagens virtuais. Nesses casos, os alunos explorariam as possibilidades das ferramentas BIM no que diz respeito a modelagem de modelos BIM e criação de perspectivas aéreas, cavaleira, isométrica, cônica, etc. sob a orientação do professor. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Realidade Aumentada (RA)

Outra alternativa para o ensino de “geometria” utilizando TICs refere-se ao uso de realidade aumentada. Gonçalves (2013) desenvolveu uma atividade com os programas Photoshop e Illustrator para analisar fotos a partir dos conceitos de

perspectiva em uma turma de Produção Multimídia. Nessas imagens os alunos identificavam o ponto de fuga, linha do horizonte e linha de terra e, em seguida, faziam a aplicação de uma imagem na cena de modo que ficasse em perspectiva (Figura 50). De forma semelhante, a RA pode ser utilizada para auxiliar no ensino de perspectiva através de um aplicativo que utiliza uma câmara para ler a geometria do ambiente e, então, identificar a linha do horizonte e o(s) ponto(s) de fuga na imagem capturada. Após uma aula teórica, o professor pode utilizar essa ferramenta para mostrar como funciona o processo de confecção de perspectiva que está presente nas cenas vistas todos os dias em qualquer lugar. E, desse modo, o docente consegue também desenvolver atividades em que os alunos façam desenhos ao ar livre de modo que a ferramenta ajude a desenvolver as perspectivas corretamente. **Recurso tecnológico: relacionar o real com o virtual.**

Figura 50 - Estudo de perspectiva a partir de uma fotografia.



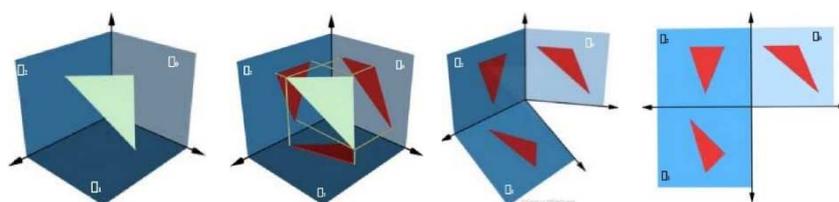
Fonte: Gonçalves (2013)

Realidade Virtual (RV)

Da mesma forma que as outras TICs, a realidade virtual também pode ser explorada no ensino de “geometria”. Jacques et al. (2001) criaram um ambiente de aprendizagem hipermídia que mescla modelos virtuais, animação 2D e textos explicativos para auxiliar os alunos a superarem problemas de compreensão de Geometria Descritiva. Na página criada, os autores (p. 420) demonstram uma animação com a planificação do sistema épura (Figura 51) e também desenvolveram um exercício em épura com animação 2D que simula “uma situação usual em sala de aula, onde um professor resolve um exercício no quadro negro, descrevendo os seus passos até a solução”. Esse experimento pode ser realizado em um ambiente imersivo por meio da

realidade virtual no qual o aluno se encontra dentro de um modelo tridimensional do plano oblíquo. Nesse modelo, o aluno pode escolher diferentes objetos para serem projetados nos planos, e ao selecionar um deles, inicia uma animação mostrando o passo a passo do processo de planificação do objeto até chegar no resultado final em *épura*. Outro cenário imersivo seria a realização de exercícios em *épura* em que é dado uma questão e aparece uma janela com opções para o aluno resolver virtualmente o problema e, em seguida, tem uma opção para visualização da resposta final por meio de animação que mostra os passos para solução da questão. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual.**

Figura 51 - Animação mostrando a planificação da *épura*.



Fonte: Jacques et al. (2001)

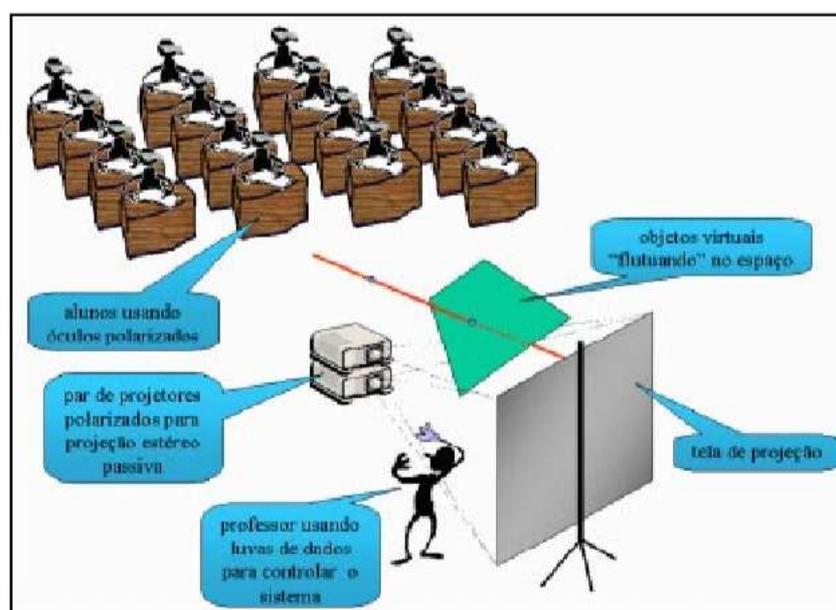
Keller e Schreiber (1999) apresentam um *software* educacional denominado GEO-3D que opera como uma ferramenta de ensino de poliedros, conteúdo de geometria espacial, e desenvolvido para alunos de ensino fundamental. O GEO-3D possui um ambiente composto por cinco modalidades: tutorial, exercícios e prática, simulação, jogo educacional e híbrida. Partindo da proposta de jogo educacional descrita pelos autores, o ensino de geometria e perspectiva pode ser apropriado por meio de exercícios em um ambiente de RV em formato de jogo. Assim, pode ser criado um jogo composto por fases que são vencidas conforme ocorre a interação do aluno com o ambiente proposto e conforme as questões selecionadas forem respondidas corretamente em cada fase. Ao selecionar uma opção de resposta, o aluno é encaminhado para a próxima fase se ela estiver correta. Caso a resposta esteja errada, o estudante é direcionado para um outro ambiente de aprendizagem. Nesse ambiente será mostrado o resultado correto do exercício e a justificativa da resposta, em seguida, o estudante deve responder outra questão de mesmo nível e sobre o mesmo conteúdo para verificação do aprendizado. Caso ele acerta a resposta, passará para a próxima fase, caso erre, novamente aparecerá a resposta correta e um novo exercício do mesmo conteúdo. Quanto mais próximo do fim do jogo, maior o nível de dificuldade das perguntas. No final do jogo aparecerá o tempo total do percurso e seu desempenho. O estudante poderá fazer outras tentativas para melhorar seu desempenho e tempo de percurso e comparar com seus colegas de turma. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual.**

Outro uso de realidade virtual foi apresentado por Seabra e Santos (2005). Os autores exibem o projeto de uma ferramenta para ser utilizada em sala de aula no ensino de Geometria Descritiva e Desenho. Segundo os autores (p. 118), a ferramenta executa “construções geométricas tridimensionais, a qual permitirá a criação de situações espaciais com pontos, retas, planos e suas projeções, conforme os movimentos da mão do usuário (usualmente, o professor)” e acrescenta que “a interface para criação e manipulação dos elementos geométricos será gestual” (Figura 52). O usuário poderá criar pontos, retas, planos, sólidos primitivos, selecionar e excluir objetos, rotacionar o sistema de coordenadas e salvar e abrir cenários construídos. Além do ensino de geometria descritiva e de desenho, conforme sugestão dos autores, esse protótipo também pode ser usado como uma ferramenta para o ensino de perspectivas. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

A prototipagem rápida é uma tecnologia que também pode ser utilizada para ensinar “geometria”. Uma possibilidade ainda pouco explorada no ensino com uso de PR refere-se ao uso de protótipos durante uma explicação teórica e em exercícios de geometria descritiva, de modo que os alunos, de posse dos modelos, desenhem as vistas ortogonais no 1º e 3º diedros. Outra alternativa seria partir do desenho de vistas ortogonais para os alunos construírem um modelo virtual e fazer a prototipagem do modelo. Nesse segundo caso, além de ensinar conceitos de geometria, o professor também desenvolve nos alunos a habilidade de modelagem, criação de imagens virtuais, modelos e maquetes. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 52 - Cenário de uso do sistema proposto



Fonte: Seabra e Santos (2005)

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “geometria” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.5 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “projeto”

As TICs também podem ser utilizadas em disciplinas da categoria “projeto” conforme será apresentado a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Eastman et al. (2014) apontam diferentes benefícios do uso do BIM para o setor de construção civil. Alguns desses benefícios podem ser aproveitados na academia pelos docentes e discentes com a utilização de programas BIM no ensino de “projeto”. Um dos benefícios indicados (p. 17) trata da “correção automática de baixo nível quando mudanças são feitas no projeto”. Com relação a isso, Ruschel et al. (2011 apud DELATORRE, 2014, p. 82) comentam que como os *softwares* BIM são paramétricos e produzem cortes e fachadas automaticamente, espera-se “gastar mais tempo projetando e menos tempo desenhando”. Ou seja, pressupõe-se que a utilização de programas BIM na disciplina de projeto estimule os estudantes a se debruçarem sobre os projetos, desenvolvendo mais soluções arquitetônicas, fazendo mais estudos de fachadas e analisando melhor o sítio onde o projeto está inserido.

Os mesmos autores (2014, p. 17) citam outro benefício que se relaciona a “descoberta de erros de projeto e omissões antes da construção”. Migrando esse benefício para o curso de arquitetura e urbanismo, com o suporte de programas BIM, os professores podem demonstrar como as diferentes disciplinas que compõem um projeto se relacionam em uma construção através da demonstração de erros de projeto (*clash detection*). A compreensão dessa relação é importante para os alunos de graduação, uma vez que os conteúdos são ensinados em disciplinas e períodos diferentes e, por meio do projeto, este estudante pode entender como esses conteúdos interagem entre si. Assim, a visualização em três dimensões das interferências de projeto pode contribuir para a compreensão do funcionamento de diferentes disciplinas em um projeto. Recurso tecnológico: **verificação de incompatibilidade de projeto**.

Outro benefício indicado por Eastman et al. (2014, p. 18), e que os alunos podem aproveitar durante o desenvolvimento de projeto, refere-se ao uso de modelos esquemáticos BIM para determinação se a construção cumpre os requisitos funcionais e de sustentabilidade, e a “extração de estimativas de custo durante a etapa de projeto”. Com isso, os professores podem aproveitar as oportunidades oferecidas por *softwares*

BIM de estudo de viabilidade da construção - como o DProfiler - para ensinar conteúdos relacionados à concepção de projetos de diferentes escalas (arquitetura, urbano e paisagismo) considerando custo, durabilidade e especificações a partir da extração e análise de informações referentes ao tempo, custo, área e impacto da construção no ambiente construído. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**.

Seguindo esse raciocínio, umas das atividades desenvolvidas com alunos de “projeto” diz respeito a análise de projetos arquitetônicos renomados. Sobre isso, Canuto (2017, p. 169) expressa que “ao modelar digitalmente uma edificação existente torna-se possível reviver o processo de concepção da obra, uma vez que todas as informações relacionadas ao projeto – incluindo arranjo físico, especificações e tecnologias – são acessadas visando à construção digital do modelo”. A autora (p. 168-169) complementa que o passeio virtual pelo modelo BIM também facilita “o estudo e análise das soluções projetuais adotadas”. Dessa forma, uma das possibilidades de uso do BIM no ensino de “projeto” refere-se à exploração de soluções projetuais de obras consagradas com base em um modelo BIM finalizado objetivando realizar análise por meio de passeios virtuais e da documentação do projeto, ou desenvolvimento de um modelo BIM pelos alunos a partir de desenhos 2D e outras informações da construção que estiverem disponíveis. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

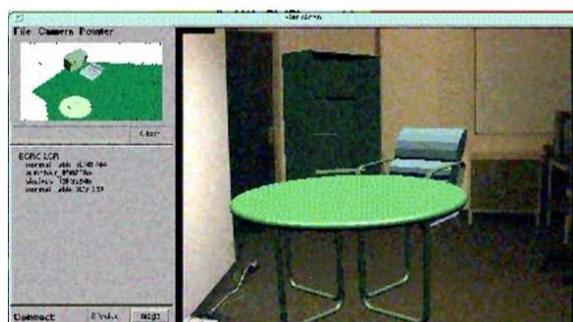
Mais uma alternativa do BIM refere-se realização de análises no modelo a partir de regras de verificação criadas pelo usuário (SANTOS: SALGADO, 2017). Segundo os mesmos autores (s.p.), a utilização de *software* de regras, como o Solibri, colabora para a validação de projetos legais pela prefeitura e pelos projetistas, ajuda na “análise de sustentabilidade e de acessibilidade, na validação dos requisitos necessários para o comprimento dos contratos, na extração de quantitativos e no planejamento das obras e na manutenção dos edifícios”. Dessa forma, os alunos podem utilizar programas como este para conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo considerando especificações, regulamentações legais, acessibilidade dos usuários e outros aspectos que forem importantes para a verificação do projeto segundo princípios estabelecidos pelo professor. Já os professores podem testar os projetos dos alunos para validar requisitos solicitados em um exercício, como pode simular perante a turma a avaliação de um projeto segundo regras de modo a chamar a atenção quanto ao cumprimento de exigências legais. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**.

Realidade Aumentada (RA)

A realidade aumentada é um TIC que oferece possibilidades para o ensino de “projeto”. Em sua pesquisa, Tripathi (2000 apud AMIM, 2007, p. 77) exhibe uma aplicação de RA para projeto de interiores a partir da combinação de uma câmera que captura a

imagem de um ambiente real e objetos 3D de realidade aumentada que podem ser inseridos neste ambiente para a escolha e a visualização de um *layout* de interiores (Figura 53). Nesse estudo, os objetos 3D fazem parte de um catálogo eletrônico que possui uma variedade de móveis, cores e preços. Esses objetos podem ser posicionados no ambiente, adicionados, rearranjados e também é possível visualizar os ambientes com os objetos por diferentes ângulos. Com base nessa experiência, o professor pode utilizar esse tipo de aplicação de realidade aumentada para ensinar conteúdos de “projeto” em diferentes escalas, ou seja, tanto projeto de arquitetura de interiores e de edificação multifamiliar como projeto de urbanismo. A partir desse experimento o docente pode explorar sobre o ato de conceber o projeto, discutir *layouts* em cima da visualização do projeto do aluno, tratar de temas como custo, durabilidade, manutenção, especificação, regulamentos legais, acessibilidade, desenho urbano, entre outros, desde que o objeto de RA, além da visualização 3D, também forneça essas outras informações. Recurso tecnológico: **visualização do modelo virtual.**

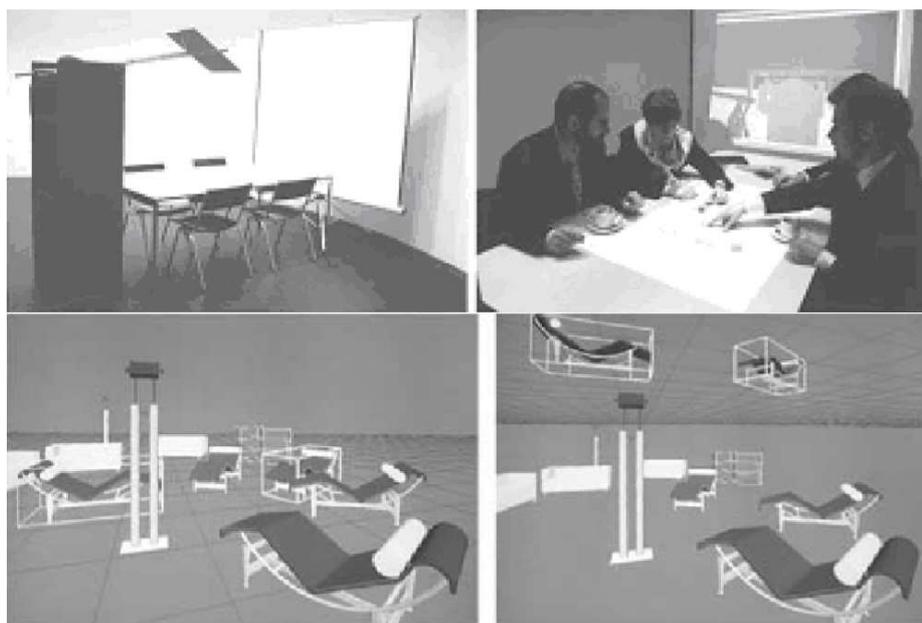
Figura 53 - Objetos 3D de RA (mesa e cadeira) sendo escolhidos para o layout de um escritório



Fonte: Amim (2007, p. 78)

Fjeld (2002 apud AMIM, 2007) relata um sistema para ser usado em reuniões de projeto e planejamento. Esse sistema é composto por dois projetores, uma câmera de vídeo, uma lâmpada, espelho, mesa, cadeiras, uma tela e blocos com marcadores (Figura 54). A planta baixa do projeto é projetada na mesa. Cada bloco com marcador representa um mobiliário diferente que é a razão da discussão de projeto. Na tela aparecem vistas do mobiliário virtual que estão sobre a mesa, sendo possível visualizar de forma aproximada ou afastada dos objetos. Esse sistema pode ser utilizado durante discussões de projeto em sala de aula tanto pelo professor como pelo aluno ou equipes de alunos. Adicionalmente, apesar desse caso ser testado para o uso em projeto de interiores, o sistema também pode ser empregado para projeto de edificações, urbanismo (AMIM, 2007) e paisagismo. Recurso tecnológico: **visualização do modelo virtual.**

Figura 54 – Equipe de projeto interagindo com marcadores em cima da planta baixa e visualizando na tela os objetos virtuais.



Fonte: Adaptado de Amim (2007, p. 79-80)

Realidade Virtual (RV)

Outra alternativa de uso de TIC no ensino de “projeto” trata-se da realidade virtual. Segundo Grilo et al. (2001, s.p.), a realidade virtual “constitui uma ferramenta ímpar para a percepção, avaliação e apreciação de projetos arquitetônicos, antes da sua construção”. Nesse sentido, os autores comentam que com essa TIC os projetos podem ser avaliados de dentro para fora e de fora para dentro, uma vez que a arquitetura pode ser visitada internamente permitindo, assim “um nível de compreensão do projeto superior ao das representações bidimensionais ou dos modelos tridimensionais”. Por esses aspectos, a discussão de projeto aluno-professor, aluno-aluno e professor-professor passa a ser mais rica, dinâmica e espontânea por ter condições de avaliar o projeto por ângulos que só podem ser proporcionados por uma visão imersiva do espaço. Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

De acordo com Mcmillan (1994) e Bertol (1997 apud GRILO et al., 2001, s.p.), modelos virtuais podem ser utilizados para “simular a evolução dos diversos fatores envolvidos no desenho urbano ao longo do tempo, [...] analisar o impacto dos projetos nas áreas existentes, avaliar a influência da intervenção na circulação e na configuração socioeconômica de uma determinada circunvizinhança. Dessa maneira, os professores podem criar um modelo urbano para mostrar diferentes propostas de intervenção que são visualizadas por meio de RV de modo que os alunos vivenciem aqueles espaços e percebam as vantagens e desvantagens de cada projeto de intervenção e também

analisem aspectos antropológicos, sociológicos e econômicos da população estudada. Recurso tecnológico: **passaio virtual**.

Netto, Machado e Oliveira (2002, p. 25) apontam vantagens e facilidades de utilização de RV na indústria de manufatura dos quais se destacam o desenvolvimento de “uma ergonomia funcional e confiável sem a necessidade de construir um modelo em escala real”. Com base nisso, a RV pode ser utilizada no ensino de ergonomia para mobiliários urbanos e de interiores a partir do uso de *data gloves* (luva virtual) onde o usuário pode sentir o mobiliário e ter a sensação de que é um objeto real, e da criação de personagens virtuais com diferentes tamanhos para simular o uso do mobiliário e analisar se suas proporções são adequadas. Assim, a RV também pode ser usada para ensinar história das artes e da estética, conceber projetos e gerar planos de intervenção no espaço urbano. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

BIM e RV

De acordo com Kieferle e Woessner (2015) é possível combinar a plataforma BIM com Realidade Virtual através da comunicação dos *softwares* Revit com COVISE (*Collaborative Visualization and Simulation Environment*) e OpenCOVER (*COVISE Virtual Environment Renderer*), como um sistema de visualização e ambiente virtual. Para facilitar a troca de informações entre o Revit e OpenCOVER foi adicionado o C# no Revit e um plugin C++ ao COVISE. Nessa pesquisa, as informações são trocadas entre esses sistemas e mudanças feitas no Revit são alteradas automaticamente na RV e vice-versa. Portanto, segundo os autores, é possível, em tempo real, interagir com o modelo como, por exemplo, mover elementos, mudar textura, interagir com simulações e acessar um painel com informações do cômodo visitado (nome do cômodo, metragem quadrada, número do andar, etc.) (Figura 55). Os usuários podem alterar parâmetros pelo *tablet* ou celular enquanto trabalham no ambiente virtual. Dessa forma, os projetos podem ser visitados em escala 1/1 em uma CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) por equipes de projeto e alterados durante a reunião. No ensino de “projeto”, a experiência imersiva acrescida da possibilidade de interação com o modelo permite que os usuários avaliem a qualidade das soluções de projeto além de testar novas soluções, sem a necessidade de retrabalho de atualizar o modelo BIM. Esse estudo abre portas para diversas maneiras de interagir tecnologia com a construção civil e com o ensino. Dessa forma, esse uso de RV também pode contribuir para gerar edifícios sustentáveis pensados desde o início do processo de projeto. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

Figura 55 - (A) Selecionando e movendo a fachada do piso térreo em RV com mouse 3D, (B) Painel em RV mostrando informações da sala atualizadas a partir do modelo Revit, (C) Equipe de projeto discutindo sobre variantes da simulação de fluxo de ar no planejamento urbano da cidade de Hildesheim.



Fonte: Kieferle and Woessner (2015)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Da mesma forma que as outras TICs apontadas anteriormente, a prototipagem rápida e a fabricação digital também podem ser exploradas no ensino de “projeto”. Digiandomenico, Landim e Fischer (2017) descreveram o processo de concepção, fabricação e instalação de um mobiliário urbano no Largo da Batata, São Paulo. Durante o processo utilizou-se a prototipagem rápida para criação de modelos em escala 1/9 e a fabricação digital para a montagem do mobiliário. Os autores relataram que a PR permitiu analisar a viabilidade da construção, evidenciou falhas de construção e contribuiu para a melhoria do projeto. Já a FD elucidou problemas não percebidos na fase de concepção de projeto. Dessa forma, os professores podem desenvolver uma atividade utilizando as oportunidades oferecidas pela prototipagem rápida e pela fabricação digital em conjunto. A atividade consistiu em um estudo de uma construção criada a partir da fabricação digital onde os alunos analisam os problemas de projeto e de construção encontrados. E, com base nisso, eles elaboram um novo projeto que resolveu as questões apontadas e no decorrer do processo de concepção utilizam a prototipagem rápida para avaliação do projeto. Em um segundo momento, os estudantes construíram o projeto em escala real por meio da fabricação digital para evidenciar se as questões foram atendidas e, se por acaso, surgiram novas questões a serem resolvidas. Esse tipo de atividade não só desenvolve a capacidade criativa do aluno, mas também trabalha a visão crítica de projeto e o pensamento das etapas do processo construtivo necessárias para execução do projeto. Recurso tecnológico: **antecipar decisões.**

Outra alternativa trata-se da utilização de terrenos prototipados para o ensino de topografia. O protótipo pode conter a elevação das curvas de nível com a finalidade dos alunos compararem o modelo com o desenho 2D. Além disso, o protótipo pode conter cortes no terreno e ter uma área com terraplanagem de modo que o modelo possa ser

utilizado em sala de aula de forma expositiva para a explicação de conteúdos teóricos. A visualização e o contato com o modelo podem facilitar a compreensão dos assuntos teóricos além de trazer a topografia para a “realidade” onde os arquitetos estão inseridos, uma vez que arquitetos são familiarizados com maquetes. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto**.

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “projeto” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.6 Possibilidades a serem exploradas no ensino de diferentes categorias

Essa seção reúne pesquisas que se enquadram em mais de uma categoria dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Building Information Modeling (BIM)

Cunha, Santos e Salgado (2015) destacaram o potencial de confeccionar e manipular um modelo BIM de uma construção existente tombada. No artigo, os autores modelaram o projeto da Vila Balbina de Severiano Mario Porto. Alguns aspectos levantados por eles foram: usar o modelo para auxiliar no estudo de soluções de projeto; divulgar a obra; realizar passeios virtuais sem precisar se deslocar até o local da construção; adicionar informações sobre o ciclo de vida da obra; inserir informações como “desenhos técnicos originais”, “registros de relevância históricas e patrimoniais que levaram ao tombamento; identificar os elementos que ainda são originais destacando daqueles que sofreram algum tipo de intervenção, bem como detalhes sobre a técnica utilizada” (CUNHA; SANTOS; SALGADO, 2015, s.p). As possibilidades apontadas pelos autores podem ser adotadas no ensino de “história”, “projeto” e “conforto ambiental” no que diz respeito à exploração das características da construção tombada, passeio virtual e estudo de soluções projetuais e de conforto ambiental. Além disso, podem ser feitas análises de desempenho ambiental com o mesmo modelo BIM. Dependendo do modelo a ser desenvolvido, também é possível tratar de assuntos relacionados ao urbanismo e paisagismo. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto** (“conforto ambiental”, “história” e “projeto”) e **simulação do modelo** (“conforto ambiental”).

Realidade Aumentada (RA)

O experimento *AR Magic Book* desenvolvido por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) que explora o conteúdo dos livros didáticos com RA, citado na seção 4.1, possui

potencial de ser explorado no ensino de qualquer conteúdo e nível escolar. Isto porque a técnica pode ser adaptada de acordo com o que deseja ser explorado no livro didático pelo professor. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Da mesma forma, o estudo feito por Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007) sobre o uso de realidade aumentada como um meio para exploração do jardim ecológico da universidade foi explorado no ensino da categoria “conforto ambiental”, conforme mostrado na seção 4.2. Contudo, além do ensino de “conforto ambiental”, essa abordagem também pode ser explorada no ensino dos conteúdos de “construção”, “história”, “geometria” e “projeto” por meio de informações 2D, 3D e textos que podem ser sobrepostas à uma construção possibilitando a compreensão de diferentes temas relacionados à arquitetura e urbanismo. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007, p. 84) realizaram uma experiência, descrita na seção 4.5, onde os alunos projetaram uma edificação no campus da universidade em um ambiente externo. A sobreposição de um projeto virtual sobre o mundo real permite que os alunos visualizem, analisem e modifiquem o projeto de uma edificação em tempo real no local em que a edificação será construída. Apesar do experimento ter sido realizado em disciplina ligada à categoria ‘projeto’, este estudo também pode ser utilizado para o ensino de “conforto ambiental” e de “construção”. Em relação à “conforto ambiental”, o professor pode simular ventos dominantes, caminho do sol, mostrar fontes sonoras e sua reverberação, ensinar sobre preservação da paisagem, desenvolvimento sustentável, avaliação dos impactos no meio ambiente, condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas. Já em relação à “construção”, ao sobrepor um projeto virtual sobre o mundo real com a possibilidade de interagir fazendo modificações virtuais, o professor pode mostrar aspectos construtivos da edificação, bem como instalações e equipamentos prediais, sistemas estruturais, explicar sobre a organização de obras e canteiros, implantação de infraestrutura urbana, domínio da concepção e do projeto estrutural e fundações. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual** (“conforto ambiental” e “construção”) e **manipulação do modelo virtual** (“construção”).

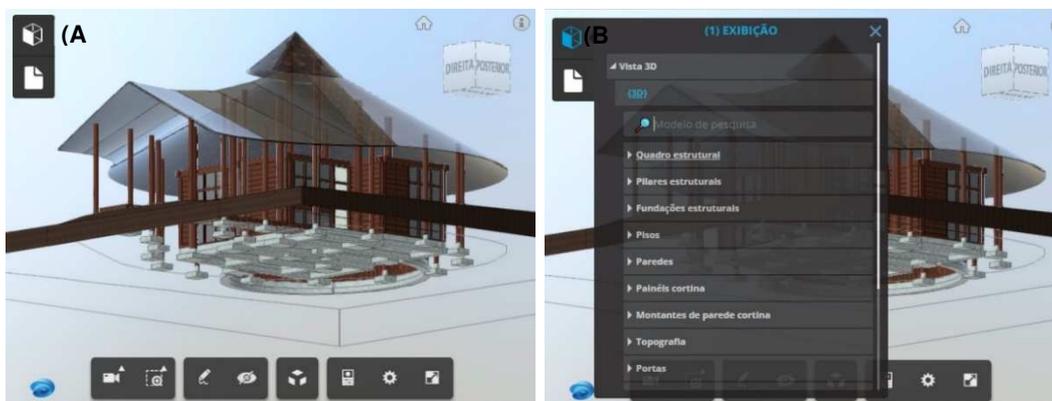
Realidade Virtual (RV) e BIM

Como resultado de seu trabalho final de graduação, Cunha (2016) realizou a construção do modelo BIM do Centro de Proteção Ambiental (CPA) da Usina Hidroelétrica de Balbina e divulgou este modelo e o projeto original do arquiteto em um site (<http://marcoabcunha.wixsite.com/balbinadigital>) como meio de exposição e preservação do bem tombado. O site além fornecer informações históricas do CPA e do

projeto - como desenhos originais -, também permite fazer uma visita virtual pelo modelo BIM bem como uma visita imersiva com uso de óculos de realidade virtual. Esse tipo de reconstrução virtual - criação de um modelo BIM e uso de RV para visita à edificação - pode ser utilizado pelos professores de “história” tanto para fazer um passeio virtual pelo modelo BIM ou um passeio imersivo pela RV como para explorar as características da edificação que levaram ao tombamento, bem como verificar meios de promover a conservação e preservação da edificação a partir da observação do modelo. Recurso tecnológico: **passeio virtual** (“história” e “construção”).

Adicionalmente, o modelo do site pode ser utilizado pelos professores de “construção” e de “projeto”. No caso do ensino de “construção”, o passeio virtual pelo modelo BIM permite a compreensão do processo construtivo de uma edificação a partir da visualização por elementos (habilitar apenas os pilares, fundação, piso, etc.) disponíveis no site (Figura 56). Além disso, também possibilita o estudo de fundações, do projeto estrutural e da estabilidade da construção. Com relação ao ensino de “projeto”, o site de Cunha (2016) viabiliza visualizar os desenhos originais do arquiteto, permite ver o modelo por elementos como paredes, coberturas, estrutura, etc., além de permitir a visualização em perspectiva ortogonal, explodida, fazer anotações no modelo, entre outras funções que facilitam a compreensão do projeto. Adicionalmente, também é possível estudar os conflitos entre o que foi projetado e o que de fato foi construído a partir da comparação entre os desenhos originais e o modelo BIM, que consultou fotos do projeto executado para descobrir as soluções adotadas pelo arquiteto durante a construção. Ou seja, o modelo BIM presente no site criado por Cunha (2016) pode ser explorado de diferentes formas pelos professores de “construção”, “história” e “projeto” de modo a fazer o aluno visualizar e compreender os conteúdos ensinados de uma forma diferente da que é praticada. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto** (“projeto”).

Figura 56 - (A) visualização do modelo BIM pelo site de Cunha (2016); (B) seleção dos elementos do modelo para visualização.



Fonte: site de Cunha (2016) - <http://marcoabcunha.wixsite.com/balbinadigital>

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Da mesma forma que as outras TICs apontadas anteriormente, a prototipagem rápida também pode ser explorada de outras formas. Em seu estudo, Savignon, Salgado e Lassance (2012) destacam vantagens do uso de protótipos para integrar técnica construtiva com a concepção arquitetônica. Segundo os autores, o protótipo auxilia na comunicação de ideias sobre materiais, conexões, texturas, formas, tamanhos e proporções entre outros aspectos; reduz o tempo de compreensão dos detalhes de projeto; dribla o problema da representação em desenho com soluções construtivas; propicia um acesso instantâneo ao objeto de estudo; auxilia na avaliação antecipada do produto e eliminação de possíveis falhas; e ajuda na detecção de problemas de execução não observados durante a elaboração do projeto. Da mesma forma, essas vantagens do uso de protótipo podem ser levadas para o ambiente acadêmico no ensino de “construção” e “projeto”, e os alunos podem se beneficiar de seu uso em sala de aula. Recurso tecnológico: **antecipar decisões** (“construção” e “projeto”).

Em sua pesquisa, Quintella, Ferreira e Florêncio (2016) enaltecem o potencial educacional do uso de pavilhões temporários feitos por meio de fabricação digital. Segundo os autores, o processo de fabricação de pavilhões permite experimentar a criação (projeto), a construção e a apropriação do espaço, o que oferece um impacto profundo na formação do arquiteto ao vivenciar essa experiência. E isto oferece base para exercícios de integração entre disciplinas do curso de arquitetura como concepção gráfica, “expressão gráfica, detalhamento, teoria do projeto, informática, paisagismo, materiais e sistemas estruturais, teoria e história da arquitetura” e o “entrecruzamento entre teoria e prática” (QUINTELLA; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2016, p. 318). Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma** (“construção”, “história”, “geometria” e “projeto”).

5.7 Consolidação das possibilidades pouco exploradas

Essa seção apresenta uma consolidação das possibilidades pouco exploradas proporcionadas pelo BIM, RA, RV, PR e FD no ensino de arquitetura e urbanismo. Dessa forma, foram elaborados os Quadros 10, 11, 12, 13 e 14 que sistematizam as alternativas apresentadas nesse capítulo por meio de cada tecnologia. Os quadros evidenciam os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos pelo professor, a categoria de ensino, os respectivos conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria - apresentados na seção 2.2.2 -, exemplos de ferramentas e o autor usado como referência.

Quadro 10 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de BIM

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Simulação do modelo	Simulação estrutural	“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Sistemas estruturais; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	Revit, Archicad, Robot Structural Analysis	Barazzetti et al. (2015)
	Análise de desempenho ambiental	“Conforto Ambiental”	Preservação da paisagem; Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOsim, <i>softwares</i> de simulação ambiental, Application Programming Interface (API) do Revit, Sketchup e FormIt	Wu e Clayton (2013); Paula (2015); Cunha, Santos e Salgado (2015)
	Estudo de viabilidade	“Projeto”	Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade e especificações regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.	DProfiler	Eastman et al. (2014)
	Segundo regras			Solibri	Santos e Salgado (2017)
Visualização do modelo e do projeto		“Construção”	Instalações e equipamentos prediais; Domínio do projeto estrutural	BIMx e A360	Leal, Salgado e Silvano (2018)
		“Conforto Ambiental”	Preservação da paisagem; Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOsim	Cunha, Santos e Salgado (2015)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		
		“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; Levantamentos topográficos.		

Continua

Quadro 10 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de BIM (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Planejamento da execução	Logística do canteiro de obras	"Construção"	Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana	Navisworks, Synchro 4D e VICO	Leal, Salgado e Silvano (2018)
	Etapas de construção				
	Controle de custo				
	Controle de prazo				
Interação com o modelo e o projeto		"História"	História da arquitetura; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações.	Archicad, Revit, BIMx, A360	Canuto (2017)
		"Geometria"	Habilidades de desenho; Perspectiva, Modelagem; Imagens virtuais.	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOsim, BIMx, A360.	Borges (2016a); Checcucci (2014)
		"Projeto"	História das artes e da estética; Aspectos antropológicos, Sociológicos e econômicos; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.		Canuto (2017)
Verificação de incompatibilidades de projeto		"Projeto"	Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando manutenção e especificações	Revit, Navisworks, Vico.	Eastman et al. (2014)

Fonte: Autor

Quadro 11 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Aumentada

Recursos tecnológicos	Alternativas		Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Relacionar o real com o virtual	Marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real)	“Conforto ambiental”	Preservação da paisagem; Avaliação dos impactos no meio ambiente; Desenvolvimento sustentável; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas.	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o Augment ou Layar, marcador ou GPS	Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)
			“Construção”	Técnicas e sistemas construtivos; Materiais de construção; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Estabilidade das construções; Fundações.		Assis, Brochardt e Andrade (2016); Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)
		Construído (virtual) e existente (real)	“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		Amim (2007); Medeiros e Paraizo (2015)
			“Construção”	Materiais de construção Instalações e equipamentos prediais Sistemas estruturais;		Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)
	Textos, imagens e/ou vídeos informativos		“Conforto Ambiental”	Condições energéticas	Sun Surveyor, Sun Seeker e Thermal Vision Fusion.	Paula (2015)
			“História”	História das artes e da estética; Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o Augment ou Layar, marcador ou GPS	Feiner et al. (2003 apud AMIM, 2007); Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)
			“Geometria”	Domínio da geometria; Perspectiva		Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)
			“Projeto”	Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; Levantamentos topográficos.		
	Todas categorias	Todos conteúdos	AR Magic Book	Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)		

Continua

Quadro 11 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Aumentada (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas		Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Relacionar o real com o virtual	Sem marcador	Textos, imagens e/ou vídeos informativos	“Geometria”	Habilidades de desenho; Perspectiva.	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o <i>Augment</i> ou <i>Layar</i>	Gonçalves (2013)
Manipulação do modelo virtual	Por meio de marcador		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o <i>Augment</i> ou <i>Layar</i> , marcador ou GPS	Rimkus e Galvão (2013)
	Por meio de GPS		“Construção”	Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Fundações.		Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)
Visualização do modelo	Por meio de marcador		“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o <i>Augment</i> ou <i>Layar</i> , marcador ou GPS	Fjeld (2002 apud AMIM, 2007)
	Sem marcador			História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Urbanismo e desenho urbano; Planos de intervenção no espaço urbano.	Dispositivo com câmera e aplicativo com objetos 3d de realidade aumentada que podem ter informações atreladas a ele como custo, especificação, medidas, etc.	Tripathi (2000 apud AMIM, 2007)

Fonte: Autor

Quadro 12 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Virtual

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Ensaio em ambientes virtuais		“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D e óculos de RV	Bryson (1991-93 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 24); Bajura (1992) e Hand (1994 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 25); Dupont (1994) e Vince (1995 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002)
		“Conforto Ambiental”	Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D; óculos de RV; transmissores auditivos, de calor, de frio e de movimento de ar	Bryson (1993 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002); Grilo et al. (2001); Seiler, Koch e Both (2015)
Passeio virtual	-	“Projeto”	Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Levantamento topográfico	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional (como SketchUp e 3DStudio Max), programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D e óculos de RV	Grilo et al. (2001)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		Moura (2017)
	com exibição de textos, vídeos e/ou imagens informativas	“Projeto”	Aspectos antropológicos, Sociológicos e econômicos; Conceber projetos Urbanismo e paisagismo; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.		Eliseo et al. (2009)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		Mcmillan (1994) e Bertol (1997 apud GRILLO et al., 2001)
	CAVE	“História”	Teoria e de história da arquitetura do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.	-	

Continua

Quadro 12 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Virtual (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Visualização do modelo e do projeto		“Construção”	Domínio da concepção e do projeto estrutural	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D e óculos de RV	Grilo et al. (2001)
Interação com ambiente virtual		“Geometria”	Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Perspectiva.	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente e de personagens virtuais como o Unity 3D, <i>joystick</i> , <i>datagloves</i> e óculos de RV.	Jacques et al. (2001); Keller e Schreiber (1999); Seabra e Santos (2005)
		“Projeto”	Conceber projetos; Planos de intervenção no espaço urbano; História das artes e da estética		Netto, Machado e Oliveira (2002)

Fonte: Autor

Quadro 13 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Prototipagem Rápida e Fabricação Digital

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Antecipar decisões	de construção	“Construção”	Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Estabilidade das construções; Fundações	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional e impressão em máquina CNC.	Carvalho et al. (2017); Leal, Salgado e Silvano (2018); Rodrigues, Pinto, Rodrigues (2010); Savignon, Salgado e Lassance (2012)
	de projeto	“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional		Digiandomenico, Landim e Fischer (2017); Savignon, Salgado e Lassance (2012)
Visualização do modelo e do projeto		“Projeto”	Levantamentos topográficos	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional e impressão em máquina CNC. Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	-

Continua

Quadro 13 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Prototipagem Rápida e Fabricação Digital (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Testar / Estudar a forma	com sensores e fotômetro	“Conforto Ambiental”	Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições lumínicas; Condições energéticas	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, impressão em máquina CNC, instalação de sensores no protótipo.	Braida et al. (2014)
	em túnel de vento		Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas		Shimomura, Frota e Celani (2010) e Pupo (2009)
	-	“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções.	Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.	Fotogrametria, escaneamento a laser, Rhinoceros e <i>Grasshopper</i>	Kowal et al. (2015); Varela e Sousa (2015); Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)
		“Geometria”	Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Modelagem; Maquetes; Modelos; Imagens virtuais	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional e impressão em máquina CNC. Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	-
“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, especificações e acessibilidade dos usuários; Planos de intervenção no espaço urbano.	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)			

Fonte: Autor

Quadro 14 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso diferentes TICs

TIC	Recursos tecnológicos	Alternativas		Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
BIM e RA	Tutorial para ensaios em laboratório			“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções.	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOSim, 3D Max, Unity 3D, Adobe Audition (áudio) e aplicativo de RA	Cuperschmid, Grachet e Fabrício (2016)
	Relacionar o real com o virtual	Por meio de marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real)	“Conforto Ambiental”	Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	Revit, Unity 3D.	Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)
	Manipulação do modelo virtual	Por meio de marcador ou GPS		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.	Modelo BIM e aplicativo de RA	Canuto, Moura e Salgado (2016)
BIM e RV	Passeio virtual			“História”	Técnicas e sistemas construtivos; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	Modelo BIM e Unity 3D, Acesso ao site criado por Cunha (2016)	Canuto, Moura e Salgado (2016); Cunha (2016)
				“Construção”		Acesso ao site criado por Cunha (2016)	Cunha (2016)
	Interação com ambiente virtual	CAVE		“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional	Revit, COVISE e OpenCOVER	Kieferle e Woessner (2015)
	Visualização do modelo e do projeto			“Projeto”	Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Urbanismo e desenho urbano.	Acesso ao site criado por Cunha (2016)	Cunha (2016)

Fonte: Autor

Ao observar os quadros nota-se uma variedade de recursos tecnológicos, proporcionados pelas TICs, que podem ser utilizadas pelo professor. Percebe-se o recurso tecnológico ‘visualização do modelo e do projeto’ pode ser utilizado por mais de uma TIC: BIM, RV, PR/FD e BIM com RV.

Por fim, através da apresentação das TICs e com todos os recursos tecnológicos e alternativas que elas oferecem, pondera-se que o uso de TICs em sala de aula pode viabilizar um trabalho colaborativo/integrado entre professores de diferentes áreas em uma mesma disciplina. Consequentemente, isso proporciona uma integração de disciplinas e de saberes do curso de arquitetura e urbanismo.

5.8 Considerações sobre o capítulo

Este capítulo apresentou possibilidades pouco exploradas de utilização de diferentes Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo. De acordo com Rodrigues, Pinto e Rodrigues (2010, p. 81), “muitos estudos mostram que os estudantes aprendem mais quando diversas técnicas de ensino são utilizadas e que alguns alunos respondem melhor a determinada metodologia de ensino”. Por isso, acredita-se que a inserção de tecnologia no ensino de arquitetura deve ocorrer de forma híbrida, ou seja, deve haver uma mesclagem entre métodos tradicionais de ensino com métodos utilizando tecnologia, uma vez que cada conteúdo possui uma particularidade e, por vezes, o método mais eficiente é o tradicional, enquanto outros conteúdos podem ser explorados de forma mais criativa utilizando tecnologia. Desse modo, a tecnologia pode ser utilizada para suprir limitações e falhas do método tradicional de ensino. A decisão de quais conteúdos podem ser ensinados com TIC deve partir do professor, já que sua familiaridade com as TICs e o tempo disponível para o desenvolvimento de novas atividades em sala, entre outros aspectos, vão influenciar diretamente na escolha do docente. Entretanto, esse capítulo serviu para evidenciar que existem diversas formas pouco exploradas pelo professor de utilizar tecnologia no ensino e, assim, contribuir e incentivar seu uso no meio acadêmico.

Para os docentes incluírem tecnologia no planejamento do ensino, deve-se levar em consideração os aspectos apontados na seção 2.3 que são: a experiência e habilidade do professor com uso da tecnologia; tempo disponível para planejamento e seleção das estratégias de ensino; ter conhecimento das escolas pedagógicas e refletir *quando, para que e a quem* ele servirá; avaliar o acesso dos alunos à tecnologia, principalmente quando a atividade didática indicar o uso da tecnologia pelo aluno fora da faculdade; selecionar a TIC que contribuirá para atingir os objetivos da disciplina; ter clareza de qual(is) atitude(s), habilidade(s) e conhecimento(s) pretende desenvolver no

aluno; e, por fim, conhecimento da aplicabilidade da ferramenta no contexto da disciplina e suas limitações.

Pesquisas apontam benefícios no uso de tecnologia no ensino. Sobre esse assunto, Checcucci (2014, p. 208) assinala que a utilização de BIM no processo de ensino-aprendizagem:

- a) amplia a capacidade cognitiva dos alunos e os estimula a trabalhar com projetos complexos;
- b) melhora a visualização espacial e a compreensão do espaço e da edificação e fornece mais recursos para a tomada de decisões e a resolução de problemas;
- c) facilita a aprendizagem de conteúdos de engenharia;
- d) potencializa as capacidades cerebrais ao dar apoio aos processos cognitivos, como a lembrança e memória; a atenção; o planejamento e a antecipação; o reconhecimento, a interpretação e a compreensão;
- e) facilita a explicitação do conhecimento sobre a edificação, promovendo o desenvolvimento da atenção, do raciocínio e da criatividade.

Da mesma forma, Rodrigues, Pinto e Rodrigues (2010, p. 87) expressam que a inserção de RA e RV no ensino “possibilita uma educação de forma dinâmica, criativa, colocando o aluno no centro dos processos de aprendizagem e buscando a formação de um ser crítico, independente e construtor de seu conhecimento”.

Igualmente, Kosak (1993) e Wittenberg (1995 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 29) indicam que “resultados obtidos do treinamento com o uso de RV são claramente superiores àqueles obtidos utilizando-se sistemas reais”. Da mesma forma, Pantelidis (1995 apud GRILLO et al., 2001p. 8) cita vantagens do uso de ambientes virtuais em educação:

- amplia a motivação do estudante;
- possibilita ilustrar mais precisamente algumas características, processos, etc.;
- permite a observação do objeto ou ambiente virtual de pequenas ou grandes distâncias;
- fornece a oportunidade para melhor compreensão do objeto de estudo;
- permite que o aluno proceda através da experiência no seu próprio ritmo;
- não restringe o prosseguimento das experiências ao período de aula regular;
- oferece a possibilidade de aprendizado de novas tecnologias;
- requer interação, ou seja, encoraja a participação ativa em vez de passiva.

Estas vantagens apoiam as teorias atuais que afirmam que alunos dominam e assimilam melhor novos conceitos quando estes participam ativamente na construção deste conhecimento através de experimentos (YOUNGBLUT, 1997).

De forma semelhante, para Tramontano (2016 apud BORGES, 2016b, p. 89) a incorporação de PR no ensino

implica em mudanças de postura didático-pedagógicas, projetuais, arquitetônicas e construtivas. Os alunos passam a compreender relações múltiplas entre processos de projeto e produção, já que a modelagem física e a preparação para fabricação, produção e montagem antecipam questões produtivas, construtivas e de organização da obra.

Conforme visto, o uso de BIM, RA, RV, PR e FD oferecem muitas vantagens na incorporação de tecnologia no ensino. Contudo, apesar das alternativas oferecidas, o professor é mobilizado por paradigmas falsos em relação à tecnologia e sua aplicação prática. E ainda tem dificuldade em usar as TICs na prática cotidiana e, acima de tudo, apropriá-las para o uso didático (ROSA, 2013 apud LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018).

Com relação as possibilidades tratadas nesse capítulo, verificou-se que as TICs (BIM, RA, RV, PR e FD) podem ser aplicadas em todos os campos obrigatórios do currículo de graduação de arquitetura e urbanismo. Da mesma forma, constatou-se que todos os conteúdos de cada categoria foram ao menos uma vez citados como possibilidade de utilização pela tecnologia, seja no capítulo 4 ou 5. Assim, pode-se afirmar que BIM, RA, RV, PR e FD podem contribuir para o ensino dos diversos campos obrigatórios do curso de arquitetura e urbanismo.

Pode-se observar ao longo do capítulo que algumas das experiências didáticas apresentadas demandaram equipamentos especiais para realizar certas atividades acadêmica, em compensação, outras experiências utilizaram equipamentos que estão disponíveis aos professores em grande parte das instituições como computador, projetor, tela de projeção, *smartphone* e *softwares* gratuitos, com licença estudantil ou que a universidade já dispõe. Com isso, pondera-se que dependendo da TIC e da atividade que o professor deseja desenvolver com seus alunos, algumas aplicações de tecnologia já são acessíveis aos docentes, enquanto outras TICs e atividades podem demandar uma reavaliação da infraestrutura dos ambientes escolares e de investimentos em equipamentos e/ou *softwares*. Da mesma forma, vale atentar à necessidade de comprometimento do projeto pedagógico das universidades, que deve explorar as alternativas oferecidas e considerar o investimento nos equipamentos necessários à inclusão digital dos estudantes de arquitetura - independente do seu poder aquisitivo e/ou da capacidade do docente em fornecer tais alternativas.

Da mesma forma, no momento em que os professores passam a utilizar TICs em suas práticas pedagógicas, cria-se a viabilidade de reintegrar disciplinas do curso de graduação. Essa reintegração ocorre a partir da exploração de uma única tecnologia por professores de diferentes disciplinas oferecendo análises de um mesmo objeto arquitetônico por ângulos que envolvem conteúdos de diversas áreas, como “história”, “projeto”, “conforto ambiental”, “construção” e “geometria”. Como resultado, será possível realizar uma revisão no projeto pedagógico, uma vez que grande parte dos cursos estão estruturados em disciplinas estanques de forma a viabilizar o trabalho integrado e colaborativo desde a sala de aula.

Vale lembrar que essa pesquisa não esgotou todas as possibilidades de integração das tecnologias nas áreas de conhecimento de arquitetura e urbanismo, uma

vez que a integração de TICs oferece uma experiência de aprendizagem mais profunda à medida que abrem novas oportunidades/maneiras de apropriação de conhecimento. E conforme o professor se apropria do conhecimento de uma determinada TIC, também surgem novas ideias de utilização delas no ensino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa dissertação abordou a incorporação de Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Como o foco da pesquisa era o docente, o estudo apresentou diversas alternativas que podem ser adotadas de forma didática pelos docentes universitários no ensino das diferentes áreas do saber da arquitetura e urbanismo usando tecnologias, especificamente, BIM, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD).

A partir de uma Revisão Sistemática de Literatura, realizou-se um levantamento de experiências didáticas usando TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Com isso, exibiu-se um panorama de possibilidades que já foram empregadas no âmbito educacional por professores. Com base no que foi visto e no universo pesquisado todas as TICs (BIM, RA, RV e PR/FD) foram utilizadas em experiências didáticas como um meio de ensinar os conteúdos de arquitetura e urbanismo, com exceção da categoria “história”. E foi constatado que o uso de TICs em certas categorias é mais evidente do que outras. Vale destacar que a existência de experiências didáticas demonstra que há interesse em dialogar sobre a interseção entre as áreas de ensino de arquitetura e urbanismo e Tecnologias de Informação e Comunicação.

Tomando como base as informações do capítulo 2, 3 e 4, a pesquisa também apresentou possibilidades pouco exploradas de uso de TICs no ensino de arquitetura e urbanismo. Com relação aos conteúdos das cinco categorias abordadas, nota-se que todos os assuntos podem ser tratados por meio de tecnologias digitais. De acordo com o que foi apresentado, concluiu-se que as TICs podem ser utilizadas pelo professor em sala de aula para tratar sobre conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Além do desejo do docente de conhecer as tecnologias, cabe ressaltar que dependendo da TIC, do conteúdo e da atividade acadêmica que o professor pretende realizar, talvez seja necessário realizar investimentos em equipamentos e na infraestrutura das salas de aula e do ambiente acadêmico como um todo. Pois, conforme visto, algumas tecnologias demandam investimentos com relação a esses aspectos, mas outras são acessíveis aos professores com a estrutura que a universidade já disponibiliza.

Da mesma forma, seria desejável que a administração do curso de graduação também crie condições para que essas tecnologias sejam adotadas em sala de aula

com máxima eficiência. Algumas delas dependerão de ajustes na estrutura de funcionamento da sala de aula.

Outro aspecto a ser considerado é que as alternativas oferecidas pela adoção de tecnologias em sala de aula levam a uma reintegração entre os saberes na formação do profissional da área. Isso, por sua vez, possibilita uma revisão do projeto pedagógico institucional de modo que o curso de arquitetura volte a ser ensinado de forma integrado ao invés de ser dividido em disciplinas, como acontece na maioria das instituições.

Acredita-se que um ensino híbrido (com e sem tecnologia) seria o mais adequado para aproveitar a habilidade tecnológica desses alunos que nasceram na era digital, mas também com um meio de aproximar as atividades desenvolvidas fora da faculdade - uso intenso de tecnologia - com as atividades dentro da faculdade - pouco uso de tecnologia.

As propostas sugeridas na pesquisa não demandam alterações na grade curricular do curso, apenas exige uma qualificação do professor em relação às tecnologias a fim de incorporar as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias em suas práticas didáticas. Adicionalmente, as alternativas apresentadas neste documento utilizaram como base o currículo obrigatório definido pelas Diretrizes Curriculares de 2010, contudo, as propostas também podem ser implementadas e adaptadas em currículos de outros países. Isso porque a proposta parte do princípio de que os professores podem usar o potencial oferecido pelas tecnologias no ensino dos principais conteúdos relacionados à arquitetura e urbanismo, sem a necessidade de alterar o currículo do curso, o que torna mais simples sua aplicação.

Uma das intenções de estimular o uso de tecnologias na sala de aula é trazer benefícios para os alunos que são capazes de entender os conteúdos ensinados com mais facilidade. Mas também suscita o interesse nos estudantes a aprender essas tecnologias que fazem parte da vida cotidiana da sociedade. Desta forma, entende-se que a adoção de práticas didáticas por professores que exploram as possibilidades das tecnologias na sala de aula trata de uma das estratégias para divulgar a inovação entre os futuros arquitetos. Portanto, as TICs podem ser de grande valor no processo didático na sala de aula e também como forma de encorajar os alunos a usá-los.

Vale salientar que as alternativas tecnológicas apresentadas nessa dissertação devem ser utilizadas considerando não apenas o tempo que se gastará em qualificação e mudança do planejamento da disciplina, mas principalmente os resultados positivos que produzirão no aprendizado do aluno. Desse modo, acredita-se que a presença de TICs na vida acadêmica e profissional do arquiteto faz-se necessária e a prática de ensinar deve acompanhar a evolução da sociedade. Com isso, as universidades precisam desenvolver as atribuições que os futuros profissionais necessitam para a

prática profissional. E pressupõe-se que a incorporação dessas tecnologias pelos docentes no ensino de disciplinas pode contribuir para preparar esses profissionais para o mercado de trabalho.

Com isso, considera-se que a adoção de tecnologias no ensino de arquitetura e urbanismo abre novos caminhos que ainda não foram trilhados pelos docentes. Assim, espera-se que esta dissertação estimule a instituição e os professores a perceberem as múltiplas potencialidades e possibilidades de uso das Tecnologias de Informação e Comunicação em diferentes áreas do curso de arquitetura e urbanismo.

Validação dos objetivos e das questões da pesquisa

A pesquisa traçou como objetivo geral: explorar possibilidades oferecidas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo. Esse objetivo foi atingido no desenvolvimento dos capítulos 4 e 5 na medida que foram propostos aos professores diferentes caminhos e oportunidades de incorporação de tecnologia no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Além disso, também foram delimitados os seguintes objetivos específicos: (a) investigar a estruturação curricular do curso de arquitetura e urbanismo com base na legislação; (b) identificar e caracterizar as Tecnologias de Informação e Comunicação em arquitetura e urbanismo que se destacam no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais; (c) investigar as possibilidades já exploradas de uso de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo; (d) apresentar potencialidades ainda pouco exploradas de uso das TICs no ensino.

O objetivo (a) foi alcançado no capítulo 2. O objetivo (b) foi obtido no capítulo 3, enquanto os objetivos (c) e (d) foram conquistados nos capítulos 4 e 5, sucessivamente.

Na dissertação também foram levantadas duas questões para o desenvolvimento da pesquisa, são elas: (1) de que forma as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) podem ser incorporadas pelos professores em diferentes áreas do conhecimento dos cursos de graduação de arquitetura e urbanismo?; (2) as TICs podem ser introduzidas no ensino de todas as áreas obrigatórias do curso de arquitetura e urbanismo?

As questões (1) e (2) foram respondidas ao longo dos capítulos 4 e 5. Com relação à questão (1), o capítulo 4 respondeu essa pergunta ao apresentar experiências didáticas que incorporaram TICs no ensino, enquanto o capítulo 5 respondeu ao exibir possibilidades ainda pouco exploradas de uso de tecnologia no ensino.

A respeito da questão (2), os resultados do capítulo 3 mostraram que no cenário analisado não foram encontrados casos de uso de TICs no ensino dos conteúdos de “história”, ao passo que os outros campos da arquitetura foram explorados pelas TICs.

Contudo, a realidade virtual foi a TIC que apresentou menos exemplos de aplicação no ensino. No desfecho do capítulo 5, verificou-se que existe a possibilidade de todas as TICs (BIM, RA, RV e PR/FD) serem aplicadas ao ensino de cada área do curso de arquitetura e urbanismo respondendo, assim, à questão (2).

Benefícios para os professores e alunos

Durante a pesquisa foi possível identificar potencialidades na implementação de TICs no ensino de arquitetura e urbanismo. Entre as potencialidades percebe-se que: (a) os alunos ficam mais motivados e interessados no ensino com tecnologia; (b) a RA e RV possibilitam melhor compreensão das questões ensinadas ao sobrepor informações virtuais no mundo real, que elas estão habituadas; (c) acredita-se que a aprendizagem por meio de aplicativos ou ferramentas ajuda os estudantes a relacionar tópicos teóricos e abstratos com problemas do mundo real.

Além disso, existem outras vantagens do ensino de TIC na graduação tanto para os alunos quanto para a academia e a indústria AEC. Os alunos vão para o mercado de trabalho preparados para as tendências tecnológicas que estão surgindo, além de instigar seu uso no meio acadêmico e profissional. Ao utilizar TIC no ensino, a academia produz profissionais capacitados e permite o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o tema, já que surgem novos desafios a serem estudados quando uma nova atividade é iniciada. Com mão de obra especializada disponível no mercado, a indústria da construção civil passa a ter chances de implementar com mais intensidade as tecnologias, melhorando a qualidade das construções.

Outro aspecto a ser considerado é que a tecnologia causa interesse e curiosidade no aluno. Seu uso oferece incentivo à aprendizagem, uma vez que a interação com a tecnologia pode proporcionar uma experiência de aprendizagem mais prazerosa, o que motiva o aluno e, como consequência, motiva o professor que, por sua vez, torna o ensino mais prazeroso.

Barreiras a serem enfrentadas pelos docentes

Por outro lado, também são observadas barreiras a serem superadas pelos professores, são elas: (1) dificuldade de recursos financeiros destinados a tecnologia; (2) adequação do projetos pedagógicos, que reverão a forma de ensinar arquitetura a partir da compreensão dos benefícios que as TICs podem trazer para o ensino; (3) seria importante a instituição promover políticas de incentivo ao uso de tecnologia; (4) seria importante a instituição promover a formação e o treinamento de professores para aprenderem a utilizar diferentes *softwares* e equipamentos eletrônicos; (5) o ambiente escolar e as salas de aula devem possuir infraestrutura adequada para atender às

necessidades dos professores e alunos que utilizam tecnologia; (6) o professor precisa de tempo na concepção metodológica em torno de um novo experimento que utiliza TIC; (7) também requer tempo para desenvolver um novo material pedagógico; (8) o professor precisa aprender sobre programação para desenvolver atividades com RA; (9) haverá resistência em alguns professores que estão convencidos de suas práticas didáticas e muitas vezes têm dificuldades em incorporar as inovações em suas aulas.

Contudo, acredita-se que se houver uma convergência de interesses entre a instituição e os professores uma parte das barreiras podem ser superadas. Com relação às dificuldades relacionadas apenas aos professores, estima-se que elas possam ser vencidas através de um esforço interdisciplinar entre docentes para definição de experimentos, aplicação em sala de aula e uso de novas ferramentas, tornando mais simples e viável a incorporação de TICs pelo professor. Além disso, uma vez desenvolvida a metodologia de aprendizagem e a ferramenta, mudanças são fáceis de serem efetuadas.

Domínio das TICs e ferramentas

Por meio da análise das experiências didáticas foi possível verificar o domínio das TICs e das ferramentas que o professor precisa ter para ensinar conteúdos de arquitetura e urbanismo. Observou-se que o professor precisa de algum conhecimento sobre a plataforma BIM, enquanto é necessário dominar a ferramenta que será utilizada em sala de aula. Isso ocorre porque para lecionar o docente precisa, principalmente, ter domínio do *software* que será utilizado por ele ou pelo aluno em aula, enquanto apenas é necessário dispor de algum conhecimento de BIM para compreender como o programa se articula dentro do conceito da plataforma. Essa percepção pode incentivar a adoção da plataforma BIM pelos professores. O mesmo ocorre com a prototipagem rápida que demanda principalmente conhecimento para manipular os *softwares* de elaboração dos modelos e impressão na máquina.

Com relação a realidade aumentada e virtual, verifica-se o cenário oposto ao que ocorre com a plataforma BIM. Esse fato se dá pela facilidade de manipulação de aplicativos e ferramentas de RA e RV, que na maioria das vezes são intuitivos. Em contraposição, a confecção do aplicativo, principalmente a produção inicial, requer conhecimento em programação para adaptar um modelo ou informação ao cenário desejado. Contudo, pequenas modificações ou revisões são facilmente realizadas por uma pessoa com pouquíssimo conhecimento em programação. Logo, se a criação do aplicativo for realizado em conjunto com um profissional familiarizado com programação, o docente não terá grande dificuldade de elaborar a atividade didática.

Contribuições da pesquisa

A dissertação apresentou alternativas de uso de TICs - disponíveis até dezembro de 2017 e acessíveis aos docentes - no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo, a partir da consolidação dos resultados de publicações que se encontram nas principais fontes de busca de relevância para a área da Arquitetura e Urbanismo com relação à TIC. Isto evidencia a quantidade de mudanças que podem ocorrer dentro da sala de aula se o professor se apropriar das ferramentas digitais que já existem e se a instituição e a coordenação apoiarem essa proposta.

Além disso, a pesquisa demonstra que as Tecnologias de Informação e Comunicação podem interferir no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo de uma forma diferente daquela que vem sendo usualmente explorada em sala de aula. Pois, através do professor ministrando qualquer disciplina do curso de arquitetura e urbanismo com TIC, este professor funcionará como um vetor que gera no aluno o interesse de estudar determinada tecnologia ou ferramenta, uma vez que o aluno aprenderá o conteúdo por meio de uma tecnologia.

Adicionalmente, as possibilidades apresentadas podem ser aplicadas a qualquer curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo, sejam cursos novos ou em andamento, uma vez que a proposta é de estimular os professores, assim como a instituição e a coordenação do curso, a incorporarem tecnologias na disciplina e não alterar a composição curricular do curso. Além disso, a inserção de TICs pode ser feita em todas as áreas de conhecimento da grade curricular, estimulando assim um ensino mais dinâmico.

Limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros

Essa dissertação não visou esgotar todas as possibilidades de integração das TICs nas práticas didáticas dos professores do curso de arquitetura e urbanismo, e sim apresentar exemplos de êxito e possibilidade ainda pouco exploradas, particularmente no uso de BIM, RA, RV e PR/FD, em sala de aula, uma vez que o tema é abrangente e a autora não teve acesso a todas as experiências realizadas. Além disso, a tecnologia avança rapidamente e, dessa forma, ligeiramente surgem novas oportunidades de aplicação de TICs no ensino. Contudo, demonstrou-se uma grande variedade de alternativas de utilização dessas tecnologias, que estão disponíveis e acessíveis aos docentes. Ressalta-se mais uma vez que os quadros apresentados nos capítulos 4 e 5 refletem possibilidades de uso de TICs até o final de 2017. E devido a rapidez com que as novas tecnologias e *softwares* são desenvolvidos e atualizados, a realização de uma tabela definitiva sobre essas informações fica impedida, já que os dados se tornam obsoletos muito rapidamente.

Existem várias possibilidades ainda pouco exploradas de uso de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo que seriam motivo de outra pesquisa de mestrado ou doutorado, pois as possibilidades são infinitas ao passo que as tecnologias digitais continuam avançando e a medida que surgem novas ideias de aplicação no ensino quando ocorre a apropriação da tecnologia. Inclusive a categoria “história” deveria ser mais explorada pelo uso de tecnologia.

Além disso, outra sugestão para trabalhos futuros seria verificar como tecnologias não incluídas nessa dissertação - como a internet das coisas, inteligência artificial, *design thinking*, cultura *maker*, entre outras TICs - podem ser incorporadas no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Por fim, espera-se que essa dissertação tenha trazido uma contribuição significativa para a melhoria do ensino de arquitetura e urbanismo e, ao mesmo tempo, possa aguçar o interesse nos docentes em explorar as possibilidades apresentadas nessa pesquisa. Pois, se por um lado o uso de tecnologia incentiva os estudantes durante a aprendizagem, por outro lado, a tecnologia também pode estimular os professores na medida em que terão novas formas de apresentar os conteúdos do curso para os alunos. Do mesmo modo, almeja-se que a partir das possibilidades levantadas na dissertação, os docentes possam se motivar ainda mais pela atividade em sala de aula e pela própria atividade docente.

REFERÊNCIAS

- ABEA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO. **Proposta de alteração da Resolução CNE/CES nº 2/2010 que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo**. 2014. Disponível em: < http://www.abea.org.br/wp-content/uploads/2014/02/Proposta_Altera_Diretrizes.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- ALECRIM, Emerson. **O que é cloud computing (computação nas nuvens)?** 4 mar. 2015. Disponível em: <<https://www.infowester.com/cloudcomputing.php>>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- ALWAN, Zaid; HOLTGATE, Peter; JONES, Paul. Applying BIM to Sustainable Performance Evaluation in Design Projects: An Educational Approach for Architecture Programmes. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 32., 2014, Newcastle. **Proceedings...** UK: Northumbria University, 2014. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/eacaade2014_105.content.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2017.
- AMBROSE, Michael A. Agent Provocateur: BIM in the academic design studio. **International Journal of Architectural Computing**, v. 10, n. 1, p. 53-66, 2012.
- AMIM, Rodrigo R. **Realidade aumentada aplicada à arquitetura e urbanismo**. 2007. 120f. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.
- AMORIM, Claudia N. D. et al. Projeto ambiental integrado: os desafios do ensino de arquitetura. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC*, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2008.
- ANDRADE, Laert dos S.r; GOULART, Shane A. S.; DE LA CRUZ, Paul C. H. O uso da realidade aumentada como ferramenta de ensino em expressão gráfica. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, GRAPHICA*, 12. 2017. **Proceedings...** Araçatuba(SP) UNIP, 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/graphica2017>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
- ANDRADE, Max. Prototipagem rápida. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p.164-165.
- ANDRADE, Max L. V. X. **Projeto performativo na prática arquitetônica recente: Estrutura Conceitual**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ÂNGELO, Sérgio C.; ZORDAN, Sérgio E.; JOHN, Vanderley M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- ARCOWEB. **Cinco novas funções na arquitetura criadas pela tecnologia**. Set. 2015. Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/noticias/tecnologia/cinco-novas-funcoes-arquitetura-criadas-pela-tecnologia>>. Acesso em: 19 abr. 2017
- ASBEA. **Guia AsBEA boas práticas BIM**. v. 2. s.c.: s.e., 2015
- ASSIS, Jonas H. G. de; BROCHARDT, Mikael M. de S.; ANDRADE, Max L. V. de. Aplicações de Realidade Aumentada no canteiro de obras: proposta de utilização na visualização de projetos de instalações para a execução. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI*, 20., 2016, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: 2016. p. 662-667.
- AUTODESK. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products>>. Acesso em: 09 mai. 2017.
- BANDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70 Ida, 1977.
- BARAZZETTI, Luigi et al. Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans. **Simulation Modelling Practice and Theory**. v. 57, p. 71-87, set. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X15000994>>. Acesso em 13 jan. 2017.
- BARISON, Maria B.; SANTOS, Eduardo T. Ensino de BIM: tendências atuais no cenário Internacional. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.6, n.2, p.67-80, dez. 2011.
- BARRETO, Mônica M.; SALGADO, Mônica S. O ensino de arquitetura e a metodologia prática na produção do conhecimento na FAU/UFRJ. *In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 4., 3., 2001. São Pedro. **Anais...** São Paulo: s/ed., 2001.
- BASTO, Priscilla E. de A; LORDSLEEM JUNIOR, Alberto C. O ensino de BIM em curso de graduação em engenharia civil em uma universidade dos EUA: estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 45-61, out./dez. 2016. Disponível em:

<<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/64069/38281>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

BEHZADAN, Amir H; VASSIGH, Shahin; MOSTAFAVI, Ali. Teaching millennials with augmented reality: cases from the U.S. education system. **PARC Research in Architecture and Building Construction**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 265-272, dec. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649284>>. Acesso em: 08 ago. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i4.8649284>.

BENTLEY. **AECOsim Building Designer**. Disponível em: <<https://www.bentley.com/pt/products/product-line/building-design-software/aecosim-building-designer>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

BERTAGNOLLI, Sílvia de C. **Impacto dos computadores na sociedade**. 1997. Disponível em: <<http://www-usr.inf.ufsm.br/~cacau/elc202/impacto.html>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

BLANCO, Mirian. **Linha do Tempo**. In: PINI, ago. 2008. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/85/artigo281409-1.aspx>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

BLUEBEAM. **Bluebeam Revu**. 2018. Disponível em: <<https://www.bluebeam.com/solutions/revu>>. Acesso em: 25 jan. 2018

BORGES, Letícia de F. et al. A representação de gradis metálicos como atividade didática uma conexão entre patrimônio, geometria e tecnologias de fabricação digital. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, GRAPHICA*, 11., 2015, **Proceedings...** Porto: APROGED, 2015. v. 2. p. 319-328.

BORGES, Marcos M. O uso de modeladores tridimensionais paramétricos na formação de competências de representação gráfica e raciocínio espacial no processo de projeto. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 21-37, jan./jun. 2016a.

BORGES, Marina F. Fabricação digital no Brasil e as possibilidades de mudança de paradigma no setor da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 79-91, out./dez. 2016b.

BRAGA, Robson F. et al. Estudo comparativo de toolkits de Realidade Virtual e Aumentada visando aplicação educacional. *In: WORKSHOP DE DESAFIOS DA COMPUTAÇÃO APLICADA À EDUCAÇÃO*, Desafie, 2012. **Anais...** 2012. p. 138-147. Disponível em: <<http://br-ie.org/pub/index.php/desafie/article/view/2784>>. Acesso em: 02 mai, 2017.

BRAIDA, Frederico et al. A produção de maquetes para ensaios em laboratório de conforto ambiental na UFJF. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 15., 2014. Maceió. **Anais...** Maceió, AL: Marketing Aumentado, 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_563.pdf>. Acesso em: set. 2017

BRANDÃO, Carlos A. L. Por que estudar história da arquitetura? **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo, v. 19, n. 32, p. 26-36, dez. 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/52453/56445>>. Acesso em: 21 feb. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.378, de 31 de dezembro de 2010**. Regulamenta o exercício da Arquitetura e Urbanismo; cria o Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil – CAU/BR – e os Conselhos de Arquitetura e Urbanismo do Estados e Distrito Federal – CAUs; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/L12378.htm>. Acesso em: 10. fev. 2017.

BRAZ, Zoleni L. **Novas mídias no ensino de arquitetura e urbanismo: relação entre tecnologias, espaço e pedagogias**. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2016.

BRIGITTE, Giovanna T. N. **Integração de desempenho na avaliação de projeto: modelo de informação e simulação computacional na etapa de concepção**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

BRIGITTE, Giovanna. T. N.; RUSCHEL, Regina. C. Modelo de informação da construção para o projeto baseado em desempenho: caracterização e processo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 9-26, out./dez. 2016.

BUILDINGSMART. **About buildingSMART**. 2016a. Disponível em: <<http://buildingSMART.org/about/about-buildingSMART/>>. Acesso em: 23 de jun. 2016.

_____. **All applications by category**. 2016b. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/implementation/implementations>>. Acesso em: 25 de jan. 2018.

CANUTO, Cristiane L. **Modelo BIM e proposta de intervenção no Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro – RJ**: pela preservação digital do patrimônio moderno. 2017. 175f. Dissertação (Mestrado profissional em projeto e patrimônio) – PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CANUTO, Cristiane L.; MOURA, Larissa R. de; SALGADO, Mônica S. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 252-264, dez. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647456>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

CAREGNATO, Rita C. A.; MUTTI, Regina. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Texto & Contexto Enfermagem**, Florianópolis, 2006, v. 15, n. 4, p. 679-84. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/tce/v15n4/v15n4a17>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

CARVALHO, Agenor M. de. O impacto da tecnologia no mercado de trabalho e as mudanças no ambiente de produção. **Revista Evidência**, Araxá, n. 6, p. 153-172, 2010.

CARVALHO, Bruno S. et al. Planejamento para construções modulares por meio de BIM e prototipagem rápida – PMCON. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2017, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC.2017. p. 1-14.

CARVALHO, Ramon S. de; SAVIGNON, Affonso P. de. O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v. 6, n. 2, p. 04-13, jan. 2012.

CASTILHO, José R. F. **Legislação profissional da arquitetura**. São Paulo: Editora Pillares, 2014a.

_____. **O arquiteto e a lei: elementos de direito da arquitetura**. 2 ed. São Paulo: Editora Pillares, 2014b.

CASTRO, Marcos da F. et al. O Brasil – universidade, projetistas, arquitetos, engenheiros – está preparado para o BIM? **au**. e. 208, jul. 2011. <<http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/o-brasil-universidades-projetistas-arquitetos-engenheiros-esta-preparado-224289-1.aspx>>. Data de acesso: 22 jun. 2015.

CAU/BR – CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. **Resolução nº 51, de 12 de julho de 2013**. Dispõe sobre as áreas de atuação privativas dos arquitetos e urbanistas e as áreas de atuação compartilhadas com outras profissões regulamentadas, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.cau.br.gov.br/resolucoes/>>. Acesso em: 10. fev. 2017.

ÇAVUŞOĞLU, Ömer H. The position of BIM tools in conceptual design phase: parametric design and energy modeling capabilities. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_170.content.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Fundamentos BIM – Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016a. 124 p.

_____. **Colaboração e integração BIM – Parte 3: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016b. 124 p.

CELANI, Gabriela. Além da avaliação energética e ambiental nas etapas iniciais do processo de projeto. **PARC Research in Architecture and Building Construction**, Campinas, SP, v. 3, n. 2, out. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634568>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

CELANI, Gabriela et al. Integração de tecnologias CAD/CAE/CAM no ateliê de arquitetura: Uma aplicação no projeto de edifícios altos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.12, n.1, p. 29-52, 2017.

CELANI, Gabriela; BERTHO, Beatriz C. A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de arquitetura. In: GRAPHICA, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2007. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~lapac/papers/celani-bertho-2007.pdf>>. Acesso em: 13 abril. 2017.

CELANI, Gabriela; FRAJNDLICH, Rafael U. de C. From prototypical to prototyping: mass-customization versus 20th century utopias in architecture and urban design. **PARC Research in Architecture and Building Construction**, v. 7, n. 3, p. 160-169, out. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647348/15223>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

CENAFOR. **Curso de atualização pedagógica para coordenadores e especialistas**. SENAFOR: São Paulo, 1998.

CHECCUCCI, Érica de S. **Ensino-aprendizagem de BIM nos cursos de graduação em engenharia civil e o papel da expressão gráfica neste contexto**. 2014. Tese (Doutorado) - *Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Educação, Salvador*.

CHECCUCCI, Érica de S.; AMORIM, Arivaldo L. de. O paradigma BIM: competências necessárias para sua inserção em cursos de engenharia civil. **Livro Relatório**, Rede BIM Brasil, n. 3. 2013.

- _____. Método para análise de componentes curriculares: identificando interfaces entre um curso de graduação e BIM. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 5, n. 1, jan./jun. 2014. Disponível em: <<http://periodicos.bc.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634540>>. Data de acesso: 18 jan. 2016.
- CHECCUCCI, Érica de S.; AMORIM, Arivaldo L. de; PEREIRA, Ana Paula C. Modelagem da Informação da Construção (BIM) no ensino de arquitetura. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 17.*, 2013, Valparaíso. **Proceedings...** Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013.
- COHEN, Jean-Louis. **O futuro da arquitetura desde 1898**: uma história mundial. São Paulo: Cosac Naify, 2013. 528 p.
- CONSTRUCT. **Inovação na construção civil**: 7 novidades que você precisa conhecer. ago. 2016. Disponível em: <<https://constructapp.io/pt/inovacao-na-construcao-civil-7-novidades-que-voce-precisa-conhecer/>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- COOPER, Harris; HEDGES, Larry; VALENTINE, Jeffrey. **The handbook of research synthesis and meta-analysis**. United Kingdom: Russell Sage Foundation Publications. 2009. Cap. 1, p. 1-14.
- CORREA, Kathia; SALGADO, Mônica S.; SANTOS, Nilton; . Proposta de adoção da cultura Wiki na Gestão Colaborativa de Projetos de edificações. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2.*, 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 2011. p.759-768.
- COUTINHO, Iluska; SILVEIRA Jr., Potiguara M. da. **Comunicação**: tecnologia e identidade. Rio de Janeiro, Mauad X, 2007.
- CUNHA, Marco A. B. Preservação do patrimônio arquitetônico: reconstrução digital do CPA Balbina – Arq. Severiano Mario Porto. 2016. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- CUNHA, Marco A. B.; SANTOS, Eduardo R.; SALGADO, Mônica S. Reconstrução digital da Vila Balbina: preservando o projeto de Severiano Mario Porto. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7.*, 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- CUPERSCHMID, Ana R. M. Realidade aumentada. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p.168-169.
- CUPERSCHMID, Ana R. M.; FREITAS, Márcia R. de. Possibilidades de uso de realidade aumentada móvel para AEC. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3.*, ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.
- CUPERSCHMID, Ana R. M.; GRACHET, Marina. G.; FABRÍCIO, Márcio M. Development of an Augmented Reality environment for the assembly of precast wood-frame wall from the BIM model. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 63-78, out./dez. 2016.
- CUPERSCHMID, Ana R. M.; RUSCHEL, Regina C.; MARTINS, Felipe A. Uso da realidade aumentada para visualização do modelo da edificação. *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO - TIC, 5.*, 2011, Salvador. **Anais...** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273318325_USO_DE_REALIDADE_AUMENTADA_PARA_VISUALIZACAO_DO_MODELO_DA_EDIFICACAO>. Acesso em: 01 mai. 2017.
- CYBIS, Luiz F.; SANTOS, Carlos C. J. dos. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada à indústria da construção civil. *In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, XXVII.*, 2000. **Anais...** Porto Alegre: 2000. Disponível em: <<http://www.ingenieroambiental.com/info/ciclodevida.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- DAVID, Priscilla L. D; FAUSTINI, Fabiana B.; FONTES, Maria Solange G. de C. Uso do software sketchup no ensino do conforto térmico. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, GRAPHICA, 12.*, 2017, São Paulo. **Proceedings...** Araçatuba: UNIP, 2017.
- DELATORRE, Vivian. **Potencialidades e limites do BIM no ensino de Arquitetura**: Uma proposta de implementação. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2014.
- DELBIN, Simone. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico**: proposta de metodologia. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

DIGIANDOMENICO, Dyego; LANDIM, Gabriele; FISCHER, Henrique. Trançado: recursos computacionais aplicados no processo de projeto de mobiliário urbano. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 12, n. 3, p. 47-58 2017.

DITZ, Christian T. **Novas tecnologias de informação e comunicação no ensino-aprend de conforto luminoso**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.

DOELLING, Max; NASROLLAHI, Farshad. Building performance modeling in non-simplified architectural design. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 30., 2012, Praga. **Proceedings...** República Checa: Czech Technical University in Prague, 2012. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/eacaade2012_116.content.04662.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

DRACH, Patrícia R. C.; VASCONCELLOS, Virgínia M. N. de; CORBELLA, Oscar D. Desenvolvimento de experimentos didáticos para visualização de vento: simulação experimental em túnel de vento e simulação computacional. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, ENTAC, 13., 2010, Canela. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2010.

DUARTE, Fábio. Arquitetura digital. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 28-29.

ELISEO, Maria A. et al. Visualização imersiva do patrimônio histórico: Um modelo espaço-temporal para o campus Mackenzie-Itambé. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI*, 13., 2009, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: s.e., 2009. p. 170-173.

EASTMAN, Chuck et al. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483 p.

FARIAS SEGUNDO, Manoel B. de A. **A informática e o ensino de projeto**: o caso das escolas paraibanas. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2010.

FAU-UFRJ - FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **História**. 2017a. Disponível em: <<http://www.fau.ufrj.br/a-fau/>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

_____. **Projeto Pedagógico**. 2017b. Disponível em: <<http://nova.fau.ufrj.br/uploads/71-Projeto%20Pedag%C3%B3gico.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

FERRACANE, Martina F. Manufacturing the future: Industry 4.0. *In: ECIPE - European Centre for International Political Economy*, jun. 2015. Disponível em: <<http://ecipe.org/blog/manufacturing-the-future/>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

FLORIO, Wilson. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL*, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2007.

FONSECA, Ligiana P. G.; CARLO, Joyce C. Ferramentas didáticas para apoio às disciplinas da área de conforto ambiental. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, ENTAC, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2012. p. 695-699.

FREIRE, Márcia R.; TAHARA, Akemi; AMORIM, Arivaldo L. de. Investigação sobre ferramentas computacionais de avaliação do desempenho térmico apropriadas ao contexto BIM para aplicação em projetos de HIS. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: 2012. p. 3413-3418.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREITAS, Márcia R. de; RUSCHEL, Regina C. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. **ARQUITETURA REVISTA**, São Leopoldo, v. 6, n. 2, jul./dez, 2010. P. 127-135. Disponível: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/4553>>. Acesso: 25 jan. 2018.

GARBINI, Marcele A. L. **Proposta de modelo para implementação e processo de projeto utilizando a tecnologia BIM**. 2013. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso. 2013.

GIL, Antônio C. (1990). **Metodologia do ensino superior**. 4 ed., 9 reimpr. São Paulo: Atlas, 2015a. 128 p. _____. (2006). **Didática do ensino superior**. 1 ed., 9 reimpr. São Paulo: Atlas, 2015b. 304 p.

GONÇALVES, Marly de M. Ensinar perspectiva utilizando os meios digitais. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO*, 21., INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS FOR ARTS AND DESIGN, 5., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora do CCE (Universidade Federal de Santa Catarina), 2013.

GRILLO, Leonardo et al. **Possibilidades de aplicação e limitações da realidade virtual na arquitetura e na construção civil**. Universidade Federal de São Paulo, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228522928_Possibilidades_de_aplicacao_e_limitacoes_da_realidade_virtual_na_arquitetura_e_na_Construcao_Civil>. Acesso em: 05 mai. 2017.

GU, Ning; JONES, Wyn M.; WILLIAMS, Anthony. Utilising digital design and rapid prototyping tools in design education. *In*: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, CAADRIA, 15., 2010, Hong Kong. **Proceedings...** Hong Kong: 2010. p. 249-258.

GUIA DA CARREIRA. **10 profissões que surgiram com a tecnologia**. s/d. Disponível em: <<http://www.guiadacarreira.com.br/profissao/profissoes-que-surgiram-com-a-tecnologia/>>. Acesso em: 18 abr. 2017

GUIMARÃES, Dilva; CABRAL, Paulo. **Significado de Tecnologia**. s/d. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/tecnologia-2/>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

IBE – INSTITUTO BRASILEIRO DE ENSINO. **Didática do Ensino Superior**: guia de estudo 1. s/d. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/18988142-Guia-de-estudo-1-didatica-do-ensino-superior-professor-a-adriana-maria-penna-instituto-brasileiro-de-ensino-didatica-do-ensino-superior.html>>. Acesso em: mar. 2017.

IMBRONITO, Maria Isabel; ALMEIDA, Eneida de. Mock-up de habitação: relação entre concepção, desenvolvimento e execução no ensino de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 291-303, dez. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8641675>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

ISHIDA, Celso Y. et al. Realidade aumentada: tecnologias inovadoras para o ensino em engenharia e arquitetura. **Percursos**, v. 15, n. 2, s.p., 2015.

JACQUES, Jocelise J. et al. Nova abordagem para o ensino de geometria descritiva básica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, COBENGE, 29., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: s.e., 2001. p. 417-422.

KASSEM, Mohamad; AMORIM, Sérgio R. L. de. **BIM Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2015. Disponível em: <<http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

KELLER, Rodrigo; SCHREIBER, Jacques. GEO-3D: a realidade virtual como suporte ao ensino de geometria espacial. *In*: WORKSHOP BRASILEIRO DE REALIDADE VIRTUAL, WRV, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Fundação Eurípedes de Marília, 1999. p. 182-193.

KIEFERLE, Joachim; WOESSNER, Uwe. BIM Interactive – About Combining BIM and Virtual Reality. *In*: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015. Disponível em: Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_329.content.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2017.

KITCHENHAM, Barbara. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. ver. 2.3. United Kingdom: 2007. Disponível em: <https://www.cs.auckland.ac.nz/~mria007/Sulayman/Systematic_reviews_5_8.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

KLOSOUKI; Simone S.; REALI, Kleivi M. Planejamento de ensino como ferramenta básica do processo ensino-aprendizagem. **UNICENTRO - Revista Eletrônica Lato Sensu**, São Paulo, ed. 5, p. 2-8, 2008. Disponível em: <http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/modulo_6/situacoes_de_aprendizagem/material_apoio/artigo_planejamento_ensino_como_ferramenta_basica.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2017.

KOS, José R. CAD (computer-aided design). *In*: BRAIDA, F. et al. **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. p.42-43.

KUBICKI, Sylvain et al. 4D Modeling and Simulation for the Teaching of Structural Principles and Construction Techniques. *In*: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 30., 2012, Praga. **Proceedings...** República Checa: Czech Technical University in Prague, 2012. Disponível em: <https://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/ecaade2012_157.content.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2017.

KUO, Chyi-Gang et al. Mobile Augmented Reality for Spatial Information Exploration. *In*: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, CAADRIA, 9., 2004, Seoul. **Proceedings...** Korea: Institute of Millennium Environmental Design and Research, Yonsei University and The Korean

- Housing Association, 2004. Disponível em:
<<http://papers.cumincad.org/data/works/att/512caadria2004.content.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.
- KOWAL, Slawomir et al. Parametric methods in reconstruction of the medieval proto-town in Pultusk, Poland. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015.
- LEAL, Bianca M. F. Use of the BIM Platform in teaching contents of environmental comfort. *In: INTERNACIONAL ORGANIZATION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT ON CONSTRUCTION, OTMC*, 13., 2017, Porec, Croácia. **Proceedings...** Zagreb: Croatia Association for Construction Management, 2017. p. 524-556. Disponível em:
<http://docs.wixstatic.com/ugd/7f5190_a365862c25e74584bf97c37eba713373.pdf>. Acesso: 26 jan. 2018.
- LEAL, Bianca M. F.; SALGADO, Mônica S.; SILVOSO, Marcos M. Impact of fourth industrial revolution in architecture undergraduate course. *In: ZERO ENERGY MASS CUSTOM HOME, ZEMCH*, 2018, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: ZEMCH Network, 2018. p. 403-415.
- LEAL, Regina B. Planejamento de ensino: peculiaridades significativas. **Revista Iberoamericana de Educación**, Buenos Aires, p. 1-5. 2005. Disponível em:
<http://www.virtual.ufc.br/solar/aula_link/llesp/A_a_H/didatica_l/aula_03-0021/imagens/03/planejamento_ensino.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2017.
- LIMA, Alvaro J. R.; HAGUENAUER, Cristina J.; CUNHA, Gerson G. A realidade aumentada no ensino da geometria descritiva. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, GRAPHICA*, 7., SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 18. 2007. **Proceedings...** Curitiba: 2007. Disponível em: <<http://www.exatas.ufpr.br/portal/deggraf/graphica2007a/>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
- LUCKESI, Cipriano C. **Avaliação da aprendizagem escolar: estudos e proposições**. 19. ed. São Paulo: Cortez, 2008.
- MACHADO, Fernanda A.; RUSCHEL, Regina C.; SCHEER, Sergio. Análise bibliométrica da produção brasileira de artigos científicos na área de BIM. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC*, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- MARAGNO, Gogliardo V. Questões sobre a qualificação e o ensino de arquitetura e urbanismo no Brasil. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO*, 31., REUNIÃO DO CONSELHO SUPERIOR DA ÁREA, 35., 2012. São Paulo. **Anais...** Disponível em: <http://abea.org.br/wp-content/uploads/2013/03/artigo_maragno-pgn1.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2017.
- MARKUSIEWICZ, Jacek; SLYK, Jan. From shaping to information modeling in architectural education: implementation of augmented reality technology in computer-aided modeling. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015. p. 83-90.
- MATTOS, Antônio C. M. O impacto do computador na empresa. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 18, n. 4, out/dez. 1978. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901978000400005>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- MEC - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Resolução nº 2, de 18 de junho de 2007**. Dispõe sobre carga horária mínima e procedimentos relativos à integralização e duração dos cursos de graduação, bacharelados, na modalidade presencial. Ministério da Educação, 2007. Disponível em:
<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2007/rces002_07.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2016.
- _____. **Resolução nº 2, de 17 de junho de 2010**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, alterando dispositivos da Resolução CNE/CES nº 6/2006. Ministério da Educação, 2010. Disponível em:
<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 31 mai. 2016.
- MEDEIROS, Marina L.; PARAIZO, Rodrigo C. Palácio Monroe em realidade aumentada: experiência patrimonial de um território informacional. *In: SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI*, 19., 2015, Florianópolis. **Proceedings...** Palhoça: Rocha Gráfica e Editora Ltda, 2015. p. 170-176.
- MEIGUINS, Bianchi S.; ALMEIDA, Igor de S.; OIKAWA, Marina A. Cartões Marcadores Reconfiguráveis em Ambientes de Realidade Aumentada. *In: Symposium on Virtual Reality*, 8., 2008, Pará. **Proceedings...** Pará: 2008.

MENEZES, G. L. B. B. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Caderno de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v. 18, n. 22, p. 153-171, 2011.

MILOVANOVIC, Julie et al. Virtual and Augmented Reality in architectural design and education: an immersive multimodal platform to support architectural pedagogy. *In*: COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN FUTURES, CAAD Futures, 17., 2017, Istambul. **Proceedings...** Istambul: Istanbul Technical University, 2017.

MIRANDA, Guilhermina L. Limites e possibilidades das TIC na educação. Sísifo. **Revista de Ciências da Educação**, 2007, n. 3, mai./ago. 2007. p. 41-50. Disponível em: <<http://ticsprojeja.pbworks.com/f/limites+e+possibilidades.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

MOKHTAR, Ahmed. BIM as learning media for building construction. *In*: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, CAADRIA, 12., 2007, Nanquim. **Proceedings...** China: Southeast University and Nanjing University, 2007. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2007_119.content.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2017.

MOLINA, Maurício L. A.; JUNIOR, Waldyr A. O ensino/aprendizagem do BIM no curso de engenharia civil da UFJF. *In*: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, VII., 2015, Recife. **Anais...** Recife: 2015.

MONAT, André; CAMPOS, Jorge L. de; LIMA, Ricardo C. Metaconhecimento: um esboço para o design e seu conhecimento próprio. **Biblioteca Online de Ciências da Comunicação**, BOCC, p. 1-13, 2008. Disponível em: <<http://www.bocc.ubi.pt/pag/monat-campos-lima-metaconhecimento.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

MORAES, Roque. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

MOREIRA, Lorena C. de S.; RUSCHEL, Regina C. Realidade Aumentada na visualização de soluções de projeto de arquitetura. *In*: SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 19., 2015, Florianópolis. **Proceedings...** Palhoça: Rocha Gráfica e Editora Ltda, 2015. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/realidade-aumentada-na-visualizacao-de-solues-do-projeto-de-arquitetura-22319>>. Acesso em: 01 mai. 2017.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 128p

MORTICE, Zach. Equipamento de "visão raio-x" permite que arquitetos vejam através das paredes de uma obra, 2017. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/875057/equipamento-de-visao-raio-x-permite-que-arquitetos-vejam-atraves-das-paredes-de-uma-obra>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

MOURA, Larissa R. de. **A reconstrução virtual na salvaguarda do patrimônio histórico: o caso Palacete Fellet**. 2017. Dissertação (Mestrado profissional em projeto e patrimônio) – PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

MULLER, Leonardo. **10 Novas tecnologias de construção que podem mudar o mundo**. dez. 2015. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/invencao/91745-10-novas-tecnologias-construcao-mudar-mundo.htm>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

NASCIMENTO, Luiz A.; SANTOS, Eduardo T. A contribuição da Tecnologia da Informação ao processo de projeto na construção civil. *In*: WORKSHOP GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: 2001. Disponível em: <http://www.lem.ep.usp.br/gpse/es23/anais/A_CONTRIBUICAO_DA_TECNOLOGIA_DA_INFORMACAO.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2017.

_____. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2003. <http://petengenharias.com.br/wp-content/uploads/2014/10/3443-11810-1-PB.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

NEIVA NETO, Romeu da S.; RUSCHEL, Regina C. BIM aplicado ao projeto de fôrmas de madeira em estrutura de concreto armado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 183-201, out./dez. 2015.

NETTO, Antonio V.; MACHADO, Liliane dos S.; OLIVEIRA, Maria C. F. de. Realidade Virtual: definições, dispositivos e aplicações. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica**, REIC, v. 2, n. 1, mar. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Valerio_Netto/publication/252019436_Realidade_Virtual_-_Definicoes_Dispositivos_e_Aplicacoes/links/572355a808ae262228aa664c/Realidade-Virtual-Definicoes-Dispositivos-e-Aplicacoes.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2018.

NICOL, Murray. What can we expect from the next industrial revolution? *In: WEF - World Economic Forum*. set. 2015. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2015/09/navigating-the-next-industrial-revolution2/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

OLIVEIRA, Marina R. de. **Modelagem virtual e prototipagem rápida aplicadas em projetos de arquitetura**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

OLIVEIRA, Marina R. de; FABRÍCIO, Márcio M. A prototipagem rápida no ensino de projeto de arquitetura. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBQP, 1., WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 9., 2009, São Carlos. Anais...* São Carlos: PPGAU/EESC/USP; Rima editora, 2009. p. 634-644.

PARAIZO, Rodrigo C. Realidade Virtual. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 170-171.

PAULA, Kênia A. de. **Integração do conforto ambiental ao processo de ensino-aprendizagem de projeto arquitetônico com o uso de aplicativos em dispositivos móveis**. 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.

PILETTI, Claudino. **Didática Geral**. 23ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2004. 258 p.

PINTO, Fernando C. G. **Papo Cabeça**. São Paulo: LeYa, 2014.

PONTES, Mateus M. Sistemas BIM no ensino de arquitetura: uma investigação do processo de ensino de geometria descritiva e desenho arquitetônico através de elementos construtivos virtuais. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 17., 2013, Valparaíso. Proceedings...* Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013. p. 569-571.

PUPO, Regina T. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas. 2009.

_____. Fabricação digital. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 98-99.

QUINTELLA, Ivvy P. C. P. et al. **Fab Labs**: A expansão da rede brasileira e sua inserção no contexto acadêmico e no ensino de engenharia. s/d. Disponível em: <http://104.152.168.36/~fablearn/wp-content/uploads/2016/09/FLBrazil_2016_paper_70.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2017.

QUINTELLA, Ivvy P. C. P.; FERREIRA, Ítalo C.; FLORÊNCIO, Eduardo Q. Making pavilions: Os pavilhões temporários no contexto das faculdades de arquitetura e urbanismo. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 20., 2016, Buenos Aires. Proceedings...* Buenos Aires: 2016. p. 318-325.

REBELO, Iria B. **Realidade virtual aplicada à arquitetura e urbanismo: representação, simulação e avaliação de projetos**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

RIGHI, Thales A. F. **Displays interativos como ferramentas de comunicação no processo de projeto de arquitetura**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, São Paulo. 2009.

RIGHI, Thales A. F.; CELANI, Gabriela. Displays interativos como ferramenta de comunicação no processo de projeto de arquitetura. *In: GRAPHICA, 2007, Curitiba. Anais...* Curitiba: 2007. Disponível em: <http://www.exatas.ufpr.br/portal/docs_degraf/artigos_graphica/DISPLAYS.pdf>. Acesso em: 13 abril. 2017.

RIMKUS; Carla M. F.; GALVÃO, Fernando de M. Realidade Aumentada: visualização tridimensional e interatividade na documentação do patrimônio arquitetônico. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 17., 2013, Valparaíso. Proceedings...* Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013.

RHEINGANTZ, Paulo A. **A construção do conhecimento no atelier de projeto de arquitetura**: em busca de uma metodologia de ensino fundamentada no paradigma da complexidade. 2000. Projeto de Pesquisa – PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

_____. Por uma arquitetura da autonomia: bases para renovar a pedagogia do ateliê de projeto de arquitetura. **ARQTEXTO**, n. 6. 2005. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/propar/publicacoes/ARQtextos/PDFs_revista_6/04_Paulo%20Afonso%20Rheingantz.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2017.

_____. Projeto de arquitetura: processo analógico ou digital? **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v. 11, n. 1, p. 95-102, jan./jun. 2016.

RODRIGUES, Claudia S. C.; PINTO, Ricardo A. M.; RODRIGUES, Paulo F. N. Uma aplicação da Realidade Aumentada no ensino de modelagem dos sistemas estruturais. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, Passo Fundo, v.2, n. 2, p. 81-95, set. 2010

RODRIGUEZ, Virginia L. da S. **É ensinando que se aprende**: as práticas atuais de ensino de projeto no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CAU-UFRN). 2008. 204f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte. 2008.

RUSCHEL, Regina C. To BIM ou not to BIM? *In*: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, ENANPARQ, 3., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie; Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2014.

RUSCHEL, Regina C.; ANDRADE, Max L. V. X.; MORAIS, Marcelo de. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 151-165, abr./jun. 2013.

SALGADO, Mônica S. Arquiteto de amanhã: caminhos para a formação profissional. *In*: NUTAU, 2004a. São Paulo. **Anais...** Disponível em: <<http://www.proarq.fau.ufrj.br/pesquisa/geparq/wp/15.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

_____. Produção arquitetônica e interdisciplinariedade: uma discussão sobre o processo de projeto e a ISO 9001/2000. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004b. São Paulo. **Anais...** Disponível em: <<http://www.proarq.fau.ufrj.br/pesquisa/geparq/wp/12.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

SALVATORI, Elena. Arquitetura no Brasil: ensino e profissão. **ARQUITETURA REVISTA**, Rio Grande do Sul, v. 4, n. 2, jul/dez. 2008. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/5471>>. Acesso em 11 mar. 2017.

SANCHO, Juana M. **Para uma tecnologia educacional**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

SANTOS, Altair. **Impressoras 3D constroem casas com concreto cimentado**. Massa cinzenta. 2014b. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/impressora-3d-constroi-casas/>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

SANTOS, Eduardo R.; SALGADO, Mônica S. Verificação de parâmetros na aprovação de projetos visando a modernização do poder público. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBQP, 2017, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

SANTOS, Eduardo T.; BARISON, Maria B. Artigo: BIM e as universidades. **Construção Mercado**, e. 115, fev. 2011. <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/115/o-desafio-para-as-universidades-formacao-de-recursos-humanos-282479-1.aspx>>. Data de acesso: 22 jun. 2015.

SANTOS, Neri dos. **As tendências tecnológicas na Educação**. 2014a. Disponível em: <http://knowtec.com/wp-content/uploads/2014/08/2014_07_28_As-tendencias-tecnol%C3%B3gicas-na-educa%C3%A7%C3%A3o-1.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.

SAVIANI, Dermeval. **Escola e democracia: polêmicas do nosso tempo**. 32. Ed. São Paulo: Autores Associados, 1999.

SAVIGNON, Affonso; SALGADO, Mônica S.; LASSANCE, Guilherme. Repensando o uso de protótipos na construção de edifícios. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2012. p. 4139-4145.

SCHÖN, Donald A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed, 2000. 256 p.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. *In*: **WEF – WORLD ECONOMIC FORUM**. jul. 2016. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

_____. **The fourth industrial revolution**. Nova York: Crown Business, 2017.

SEABRA, Rodrigo D.; SANTOS, Eduardo T. Utilização de técnicas de realidade virtual no projeto de uma ferramenta 3D para desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. **Revista Educação Gráfica**, Bauru, n.9, p.111-122, 2005.

SEILER, Uwe T.; KOCH, Volker; BOTH, Petra von. Immersive virtual simulation of spaces. *In*: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015.

Disponível em: <http://papers.cuminCAD.org/cgi-bin/works/Show?ecaade2015_72>. Acesso em: ago. 2017.

SHIMOMURA, Alessandra R. P.; FROTA, Anesia B.; CELANI, Gabriela. Modelos físicos na análise de ventilação urbana: o uso do túnel de vento. **FORUM PATRIMÔNIO: ambiente construído e patrimônio sustentável**, Belo Horizonte, v.4, n.1, jan./jun. 2010. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/43/38>. Acesso em: set. 2017.

SILVA, Fábio D. de A. **Arquitetura e as tecnologias de informação: da revolução industrial à revolução digital**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Artes, São Paulo. 1997.

SIMON, Roberto R. A organização da profissão do arquiteto frente ao cooperativismo de crédito. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, PósARQ, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2010.

SOUZA, Cristiano. **O desaparecimento de algumas profissões e a criação de novos conceitos**. 2 set. 2015. Disponível em: <<http://www.rhportal.com.br/artigos-rh/o-desaparecimento-de-algumas-profisses-e-a-criacao-de-novos-conceitos/>>. Acesso em: 18 abr. 2017

SOUZA, S. C.; DOURADO, L. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **HOLOS**. Rio Grande do Norte, ano 31, v. 5, mar./set. 2015. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/2880/1143>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

STANGE, Fabiano P. **Protótipo de ambiente virtual educacional para atividade típica da construção civil brasileira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Paraná.

SVINICKI, Marilla; MCKEACHIE, Wilbert J. **Dicas de ensino: estratégias, pesquisa e teoria para professores universitários**. 13. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TECHEL, Florian; NASSAR, Khaled. Teaching building information modeling (BIM) from a sustainability design perspective. *In: Arab Society for Computer Aided Architectural Design, ASCAAD*, 3., 2007, Alexandria. **Proceedings...** Egypt: The Arab Society for Computer Aided Architectural Design, 2007.

TIBÚRCIO, Túlio M. de S.; BRAZ, Zoleni L.; NATALINO, Maria Luiza R. Relação entre o Espaço da Sala de Aula, as Novas Tecnologias e o Ensino de Projeto de Arquitetura. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

TPE - TODOS PELA EDUCAÇÃO; INSTITUTO INSPIRARE. **Inovações tecnológicas na educação: contribuições para gestores públicos**. 2014. Disponível em: <<http://www.todospelaeducacao.org.br/biblioteca/conteudo-tpe/1497/inovacoes-tecnologicas-na-educacao-contribuicoes-para-gestores-publicos/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

TRIMBLE. **Tekla BIMsight**. Disponível em: <<http://www.teklabimsight.com/>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

TURRA, Clódia M. G. et al. **Planejamento de ensino e avaliação**. 8. ed. Porto Alegre: PUC-EMMA, 1975.

VARELA, Pedro de A.; SOUSA, José P. Digital flow in stone heritage buildings: the nasoni keystone experiment. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015.

VAZ, Adriana; ANDRADE, Andrea F.; SILVA, Rossano. Modelando coberturas no Sketchup: uma experiência didática. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO*, 20., GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 9., 2011, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: UFRJ, Escola de Belas Artes, 2011.

VILELLA, João P.; LIMA, Fernando; ZANCANELI, Mariana. Reflexões sobre a simulação ambiental e BIM: uma abordagem pedagógica em Arquitetura e Urbanismo. *In: SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGraDi*, 19., 2015, Florianópolis. **Proceedings...** São Paulo: Blucher, 2015. p. 756-760. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/sigradi2015/sp10236.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian; SCHULTMANN, Frank. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109-127, 2014.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **New vision for education: fostering social and emotional learning through technology**. 2016. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/new-vision-for-education-fostering-social-and-emotional-learning-through-technology/>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

WU, Chengde; CLAYTON, Mark. J. BIM-based acoustic simulation framework. *In: CIB W78 International Conference*, 30., 2013, Beijing. **Proceedings...** China: 2013. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/304625903_BIM-Based_Acoustic_Simulation_Framework>. Acesso em: 30 mai. 2016.

YAN, Wei; LIU, Geqing. BIMGame-integrating BIM and Games to enhance sustainable design and education. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 25.*, 2007, Frankfurt am Main. **Proceedings...** Germany: Faculty of Architecture and Civil engineering, FH Wiesbaden, 2007. Disponível em: <https://cumincaad.architecturez.net/system/files/pdf/ecaade2007_188.content.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

**PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E
URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS**

Bianca Marques Figueiredo Leal

2018



UFRJ

**PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E
URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS**

Bianca Marques Figueiredo Leal

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa Cultura, Paisagem e Ambiente Construído.

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Rio de Janeiro
Março de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Lp Leal, Bianca Marques Figueiredo
Propostas para o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo através de ferramentas digitais / Bianca Marques Figueiredo Leal. -- Rio de Janeiro, 2018.
183 f.

Orientador: Mônica Santos Salgado.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, 2018.

1. Ensino de arquitetura e urbanismo. 2. BIM. 3. Realidade aumentada. 4. Realidade virtual. 5. Prototipagem rápida. I. Salgado, Mônica Santos, orient. II. Título.

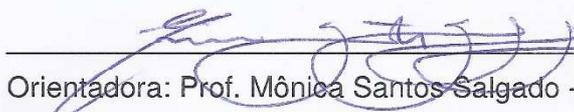
**PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E
URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS**

Bianca Marques Figueiredo Leal

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa em Cultura, Paisagem e Ambiente Construído.

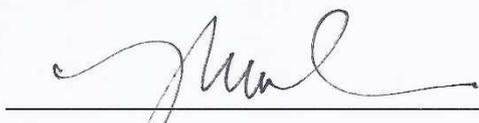
Aprovada por:



Orientadora: Prof. Mônica Santos Salgado - PROARQ/FAU-UFRJ



Prof. Paulo Afonso Rheingantz - PROARQ/FAU-UFRJ



Prof. Regina Coeli Ruschel – FEC UNICAMP

Rio de Janeiro
Março de 2018

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus pela oportunidade de ter feito esse mestrado.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe e ao meu avô, pelo apoio e suporte que sempre me proporcionam.

Ao meu namorado, amigo e companheiro, Mauro Cezar, por estar sempre ao meu lado pronto para me incentivar e apoiar em todos os momentos.

À professora Mônica Salgado pela orientação, paciência, conselhos e contribuições dadas ao longo desses dois anos de pesquisa e por ter me recebido no GEPARQ.

Aos colegas do GEPARQ que me acolheram no grupo de pesquisa e sempre estavam dispostos a ajudar da melhor forma.

Aos professores Regina Ruschel e Paulo Afonso pela disponibilidade e contribuições que fizeram a pesquisa.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Àos professores e as secretárias do PROARQ que sempre estiveram a disposição para auxiliar no que fosse necessário.

Aos meus amigos pela força, palavras de carinho e contribuição afetiva que me deram.

“Se você quer algo novo, precisa
parar de fazer algo velho.”

Peter Drucker

RESUMO

PROPOSTAS PARA O ENSINO DOS CONTEÚDOS DE ARQUITETURA E URBANISMO ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DIGITAIS

Bianca Marques Figueiredo Leal

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

O uso de tecnologia é um processo irreversível que trouxe mudanças na atividade profissional do arquiteto, influenciou sua maneira de projetar e, conseqüentemente, ocasionou modificações na formação profissional em arquitetura. A utilização de tecnologia no ambiente educacional instiga o interesse dos alunos e estimula a aprendizagem. Com isso, torna-se necessário repensar o processo de ensino-aprendizagem para que as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias sejam apresentadas aos estudantes de arquitetura durante sua formação. Contudo, pesquisas apontam que as universidades não estão acompanhando a velocidade das mudanças tecnológicas, tanto na atualização do currículo como na formação dos professores. O resultado é uma defasagem entre as possibilidades existentes e as práticas em sala de aula. Nesse sentido, a pesquisa possui o objetivo de apresentar aos docentes possibilidades de incorporação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino de Arquitetura e Urbanismo. As TICs consideradas na pesquisa foram BIM, Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Prototipagem Rápida e Fabricação Digital. Os métodos adotados foram Revisão Sistemática de Literatura (RSL) e revisão de literatura sem meta-análise. A RSL foi utilizada para analisar publicações sobre experiências didáticas que exploram TICs no ensino de arquitetura e urbanismo, já o segundo método verificou publicações que tratam sobre diferentes usos das TICs que podem ser adaptados e aplicados ao meio acadêmico. Os resultados apresentaram um panorama sobre a aplicabilidade de tecnologias e também possibilidades ainda pouco exploradas de forma a propor estratégias para a adoção dessas tecnologias no ensino de arquitetura e urbanismo. A pesquisa indica que o ensino de arquitetura e urbanismo pode se beneficiar do grande potencial oferecido pelas TICs.

Palavras-chave: ensino de arquitetura e urbanismo; BIM; realidade aumentada; realidade virtual; prototipagem rápida

Rio de Janeiro

Março de 2018

ABSTRACT

PROPOSALS FOR THE TEACHING OF THE CONTENT OF ARCHITECTURE AND URBANISM THROUGH DIGITAL TOOLS

Bianca Marques Figueiredo Leal

Orientadora: Mônica Santos Salgado

Abstract da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

The use of technology is an irreversible process that brought changes in the professional activity of the architect, influenced his way of designing and, consequently, caused changes in the professional training in architecture. The use of technology in the educational environment instigates student interest and stimulates learning. With this, it becomes necessary to rethink the teaching-learning process so that the possibilities offered by the new technologies are presented to the students of architecture during their formation. However, research shows that universities are not following the speed of technological changes, both in updating the curriculum and in the training of teachers. The result is a gap between existing possibilities and practices in the classroom. In this sense, the research has the objective of presenting to teachers the possibility of incorporating Information and Communication Technologies (ICTs) in the teaching of Architecture and Urbanism. The ICTs considered in the research were BIM, Augmented Reality, Virtual Reality, Rapid Prototyping and Digital Manufacturing. The methods adopted were Systematic Review of Literature (SRL) and literature review without meta-analysis. SRL was used to analyze publications about didactic experiences that explore ICTs in architecture and urbanism teaching, while the second method verified publications that deal with different uses of ICTs that can be adapted and applied to the academic environment. The results presented a panorama about the applicability of technologies and also possibilities still little explored in order to propose strategies for the adoption of these technologies in the teaching of architecture and urbanism. Research indicates that teaching architecture and urbanism can benefit from the great potential offered by ICTs.

Key-words: teaching of architecture and urbanism; BIM; augmented reality; virtual reality; rapid prototyping

Rio de Janeiro

Março 2018

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFLEXÃO SOBRE OS CONTEÚDOS ENSINADOS EM ARQUITETURA E URBANISMO.....	9
2.1 Considerações sobre a didática do ensino superior	9
2.2 Características do ensino de arquitetura e urbanismo: o papel do docente	17
2.2.1 Contextualização do ensino e da legislação de arquitetura e urbanismo	18
2.2.2 Legislação educacional dos cursos de Arquitetura e Urbanismo.....	21
2.3 Tecnologias digitais e o ensino de arquitetura e urbanismo	24
2.3.1 Motivação e curiosidade no ensino	29
2.4 Considerações sobre o capítulo	31
3 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICS) EM ARQUITETURA E URBANISMO	32
3.1 Breve histórico das revoluções industriais.....	32
3.2 TICs no cenário da 3ª e 4ª Revolução Industrial	42
3.2.1 Modelagem da Informação da Construção (BIM)	43
2.2.1.1 Interoperabilidade no desenvolvimento de projetos.....	50
2.2.1.2 Adoção do BIM no Brasil.....	53
3.2.2 Realidade Aumentada (RA)	56
3.2.3 Realidade Virtual (RV)	58
3.2.4 Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD).....	61
3.3 Considerações sobre o capítulo	64
4 USO DE TICS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO	65
4.1 TICs no ensino dos conteúdos de “construção”	69
4.2 O papel das TICs no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”	76
4.3 TICs no ensino dos conteúdos de “história”	84
4.4 “Geometria” utilizando ferramentas digitais.....	85
4.5 TICs no ensino dos conteúdos de “projeto”	94
4.6 Avaliação dos dados obtidos na RSL.....	105
4.7 Considerações sobre o capítulo	109
5 POSSIBILIDADES POUCO EXPLORADAS DE ADOÇÃO DAS TICS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO.....	111

5.1 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “construção”	111
5.2 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”	118
5.3 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “história”	122
5.4 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “geometria”	130
5.5 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “projeto”	134
5.6 Possibilidades a serem exploradas no ensino de diferentes categorias..	140
5.7 Consolidação das possibilidades pouco exploradas	143
5.8 Considerações sobre o capítulo	152
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
REFERÊNCIAS	163

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O tema desta pesquisa emergiu das transformações que a indústria da construção civil está passando nos processos de projeto e de construção, provocadas pelos desenvolvimentos tecnológicos da 3ª e 4ª Revoluções Industriais. Os maiores avanços tecnológicos começaram a ocorrer na 1ª Revolução Industrial e foram evoluindo até o atual mundo em rede e tecnológico da 4ª Revolução Industrial. Cada revolução marcou um ponto de virada da história, influenciando, de alguma forma, quase todos os aspectos da vida cotidiana, e com a arquitetura não foi diferente. A arquitetura e urbanismo também acompanharam o fluxo de mudança adequando-se às novas realidades (CELANI; FRAJNDLICH, 2016).

Com as Revoluções Industriais, houve um aprimoramento do método de projeto em razão das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) que surgiram como ferramentas para auxiliar no processo de projeto. Contudo, com os avanços das possibilidades oferecidas pelas TICs, as tecnologias passaram a integrar também o processo de construção e de planejamento, se tornando importante no cotidiano e indispensável para a maioria dos profissionais (RIGHI, 2009). Sobre isso, Carvalho e Savignon (2012, p. 8) falam que “o arquiteto contemporâneo precisa ser capaz de lidar com muitos equipamentos e aplicativos de comunicação digital e, ao mesmo tempo, ser capaz de coordenar o fluxo de toda essa informação para transformá-la em algo que venha a ser construído”.

Ao mesmo tempo, as revoluções industriais repercutiram em novas demandas no mercado de trabalho, ocorrendo mudanças na atuação do arquiteto ao longo do tempo. E, naturalmente, essas mudanças exerceram rebatimento na formação profissional. A respeito disso, Salgado (2004a) expressa que é importante discutir a formação profissional em arquitetura para que a atuação desse profissional esteja alinhada com as necessidades da sociedade e do meio ambiente onde atua.

Acerca desse aspecto, Carvalho e Savignon (2012) comentam que o arquiteto contemporâneo, além da formação multidisciplinar, deve ter conhecimentos em tecnologia digital, o que gera a necessidade de revisão do processo de formação dos profissionais, uma vez que se torna necessário capacitar esses profissionais para enfrentar os desafios da arquitetura digital.

Paralelamente, observa-se que as práticas em sala de aula nem sempre acompanham o ritmo das inovações que surgem e, assim, não incorporam as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias digitais no ensino, de modo a dinamizar a aula lecionada pelo professor. Carvalho e Savignon (2012) expressam que

as universidades não estão acompanhando a velocidade das mudanças, tanto na atualização do currículo como na formação dos professores. Complementando esse pensamento, Salgado (2004a, s.p.) destaca que é

necessário realmente ensinar aos estudantes de arquitetura a explorar todo o potencial oferecido pela informática para que os futuros profissionais não incorram nos erros do passado, quando o uso do computador acabou por “informatizar o caos” e não “revolucionar a forma de trabalhar”, como seria esperado.

Assim, no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais, certas Tecnologias de Informação e Comunicação se destacam na indústria da construção civil. E as TICs escolhidas como recorte tecnológico dessa dissertação foram *Building Information Modeling* (BIM), Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD).

Vale ressaltar que a Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), TIC da 4ª Revolução Industrial, ainda está sendo incorporada na construção civil por intermédio das construtoras e também existem informações sobre edifícios e eletrodomésticos que usam essa inteligência. Entretanto, a IoT ainda está em desenvolvimento e as outras tecnologias citadas anteriormente são mais viáveis de serem incorporadas ao ensino de arquitetura considerando o cenário de desenvolvimento tecnológico brasileiro de 2018. Por isso, o recorte escolhido para essa pesquisa foram as TICs citadas anteriormente: BIM, RA, RV, PR e FD.

Particularmente neste contexto, existem muitas potencialidades a serem exploradas e uma delas refere-se às possibilidades oferecidas por essas TICs no ensino de arquitetura e urbanismo, que serão abordadas nessa dissertação.

Questão

Nesse sentido, diante das emergentes inovações tecnológicas da 3ª e 4ª Revoluções Industriais e da utilização de novas tecnologias pelo mercado de trabalho, surge a necessidade de formar um profissional que possa atender às demandas da sociedade.

Celani et al. (2017, p. 30) ressaltam que “mesmo diante da popularização dessas novas tecnologias [CAD/CAE/CAM], sua inserção no ensino de arquitetura no Brasil ainda se dá de maneira pulverizada, por meio de disciplinas que vão sendo adicionadas ao currículo de maneira isolada e com foco no ensino do *software*”. Com o mesmo raciocínio, Cabral Filho e Santos (1998 apud DITZ, 2004, p. 73) “ênfaticamente enfatizam que deve haver uma reflexão para não se incorrer no mesmo erro do ensino tradicional do CAD, que, em muitos cursos, tendem a privilegiar o ensino restrito do *software* em detrimento de uma abordagem mais livre, especulativa e interativa”. Adicionalmente, parte do corpo

docente que atua neste momento na formação profissional dos arquitetos possui dificuldade de se apropriar de novas tecnologias e de integrá-las ao currículo (SANTOS; BARISON, 2011). Conseqüentemente, o uso de tecnologia não tem sido empregado na exposição dos conteúdos próprios à formação em arquitetura e urbanismo.

Por isso, entende-se que a associação de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo pode trazer contribuições para a formação profissional, além de antecipar futuras experiências profissionais. Visto isso, essa dissertação visa responder à duas questões:

- (1) de que forma as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) podem ser incorporadas pelos professores em diferentes áreas do conhecimento dos cursos de graduação de arquitetura e urbanismo?**
- (2) as TICs podem ser introduzidas no ensino de todas as áreas obrigatórias do curso de arquitetura e urbanismo?**

Objetivo geral e objetivos específicos

A fim de responder as questões acima, foi traçado como objetivo geral da pesquisa: **explorar possibilidades oferecidas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo para propor aos professores uma mudança na abordagem dos conteúdos.**

A premissa é que os professores, foco da pesquisa, possam difundir os conhecimentos de arquitetura e urbanismo através da incorporação das funcionalidades oferecidas pelas tecnologias no ensino de diferentes disciplinas do curso sem a necessidade de alteração dos currículos aprovados para as disciplinas. E, dessa forma, proporcionar um ensino mais atrativo e estimulante para o aluno.

Nesse contexto, ao estudar formas de se apropriar de TICs, o docente acaba apresentando aos alunos diferentes alternativas de uso de tecnologia estimulando, assim, esses estudantes a aprenderem ferramentas. Conseqüentemente, promove-se a formação de um profissional que se apropria de tecnologia não porque estudou ou fez um curso a respeito, mas porque viu um professor usando em sala de aula.

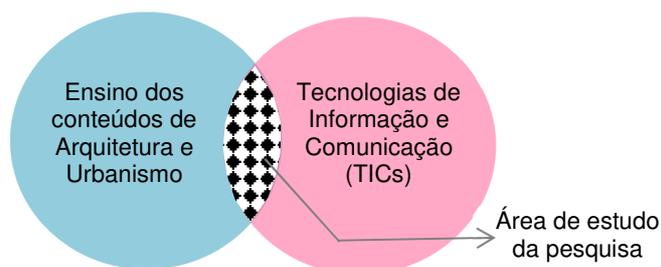
Como desdobramento da pesquisa, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar a estruturação curricular do curso de arquitetura e urbanismo com base nas Diretrizes Curriculares de 2010 em vigor em 2018;
- Identificar e caracterizar as Tecnologias de Informação e Comunicação em arquitetura e urbanismo que se destacam no cenário da 3^a e 4^a Revoluções Industriais;

- Investigar as possibilidades já exploradas de uso de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo;
- Apresentar potencialidades pouco exploradas de uso das TICs no ensino.

Nesse sentido, a pesquisa possui uma proposta multidisciplinar de trabalhar com a interseção entre dois temas: (1) ensino dos conteúdos de Arquitetura e Urbanismo; e (2) Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), conforme Figura 1.

Figura 1 - Delimitação da dissertação



Fonte: Autor

Vale destacar que essa dissertação dialoga mais sobre TIC aplicada à arquitetura e urbanismo do que propriamente sobre ensino, uma vez que a pesquisa trata de possibilidades de adoção de tecnologia pelo docente na aplicação dos conhecimentos em arquitetura e urbanismo.

Justificativa

O propósito dessa investigação se justifica pelo fato das TICs serem tecnologias que oferecem potenciais interessantes a serem explorados de modo que seria importante para o curso de Arquitetura e Urbanismo ter estas potencialidades investigadas no ensino de diferentes disciplinas da graduação.

Sobre isso, Braga et al. (2012, p. 139) comentam que há um potencial educacional de aplicação de TICs e destaca que existe “um desafio em produzir materiais instrucionais, que permitam aos professores explorarem as potencialidades dos ferramentais disponíveis e assim fazerem um bom uso dessa tecnologia no processo de ensino e aprendizagem”. De modo igual, Dittz (2004, p. 168) cita que há “uma crescente necessidade de orientações, por parte de educadores e pesquisadores, na escolha dos recursos pedagógicos, a fim de auxiliá-los na preparação e uso de material didático e dos ambientes de ensino-aprendizagem”. Com isso, a presente pesquisa visa orientar os docentes em relação às possibilidades e potencialidades oferecidas pelas tecnologias, de modo que eles consigam ter base para introduzi-las em atividades acadêmicas.

Pupo (2009, p. 197, grifo nosso) destaca que

são vastas as possibilidades como **cada disciplina** pode se envolver com tecnologias de prototipagem e fabricação digitais. O que vai garantir o sucesso e o aproveitamento absoluto dessa integração, sem dúvida, é a informação e **conscientização do corpo docente** em estimular esta prática. As experiências demonstram que a **cada nova geração de alunos, é maior o entusiasmo e a facilidade de absorção de novas tecnologias.**

Seguindo esse raciocínio, Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016, p. 265) indicam que “a nova geração de alunos tem uma habilidade natural de usar tecnologia e informação digital” com grande facilidade em introduzir “novas ferramentas e dispositivos móveis em suas atividades diárias”. As Tecnologias de Informação e Comunicação, segundo Paula (2015, p. 11), “estão presentes no cotidiano das pessoas, alterando o modo como se relacionam entre si e com o mundo”. E acrescenta que “a nova perspectiva espaço-temporal definida pelas TICs também influi na maneira com que as pessoas compartilham, aprendem e se apropriam do conhecimento”. Nesse contexto, o *World Economic Forum* (WEF) - organização internacional sem fins lucrativos que reúne líderes da sociedade para discutir questões de importância mundial – elaborou um documento chamado “*New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning through Technology*” que comenta que a tecnologia é vista como uma ferramenta que pode ser utilizada como complemento e extensão da aprendizagem, além de possibilitar uma experiência mais interativa (WEF, 2016).

De acordo com Edzie (2014 apud Behzadan, Vassigh e Mostafavi, 2016), as principais causas de abandono do curso são a falta de motivação e engajamento no processo de aprendizagem. Em contraposição, as tecnologias causam fascínio nas pessoas, especialmente nos estudantes, o que pode agir como um catalisador pelo interesse nos estudos (BRAGA et al., 2012). Com isso, pode-se afirmar que levar a tecnologia para a sala de aula pode ser uma maneira de estimular a aprendizagem e facilitar a apropriação dos conteúdos. Dessa forma, com as TICs promovendo um ensino mais dinâmico é possível integrar ferramentas durante o processo de ensino, estimulando equipes ao trabalho colaborativo - característicos das empresas de projeto comprometidas com as novas tecnologias - e, também, mantendo o aluno motivado e, assim, evitando o abandono do curso.

Em paralelo, após a regulamentação da Portaria nº 1.770/1994 - que introduziu a área de conhecimento ‘Informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo’ - as tecnologias foram inseridas nos cursos de forma apressada sem a devida reflexão sobre seu impacto no processo de ensino-aprendizagem das diversas disciplinas (FARIAS SEGUNDO, 2010). E, também, não foi pensado quais conhecimentos e habilidades os professores precisam se apropriar para incluir a informática em seus conteúdos e práticas em aula. Igualmente, não houve uma reflexão sobre como essas tecnologias

poderiam contribuir no ensino, de modo a facilitar a assimilação dos diferentes conteúdos ensinados no curso.

Segundo Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016, p. 266, tradução nossa), “os instrutores devem treinar e educar os alunos com as últimas e melhores ferramentas e métodos para prepará-los para futuras carreiras avançadas que estão se tornando cada vez mais dependentes de tecnologia”. Dessa forma, torna-se necessário repensar o processo de ensino-aprendizagem para que as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias sejam apresentadas aos estudantes de arquitetura durante sua formação profissional.

Com isso, a pesquisa propõe uma mudança na abordagem dos professores ao ensinar os conteúdos curriculares da graduação de arquitetura e urbanismo a partir da inclusão de TICs, proporcionando novas experiências para os docentes e discentes. Essas tecnologias passarão a ser o meio pelo qual os alunos compreenderão os conceitos ensinados nas disciplinas, sendo este último o principal foco da disciplina. Vale destacar que o uso de *softwares* nas aulas não tem o objetivo de ensinar os alunos a mexerem com os programas. A proposta é partir das potencialidades que essas ferramentas oferecem para auxiliar a aprendizagem em sala de aula e, também, instigar os interessados a estudarem e aprofundarem seus estudos nesses *softwares* ou ferramentas.

Metodologia

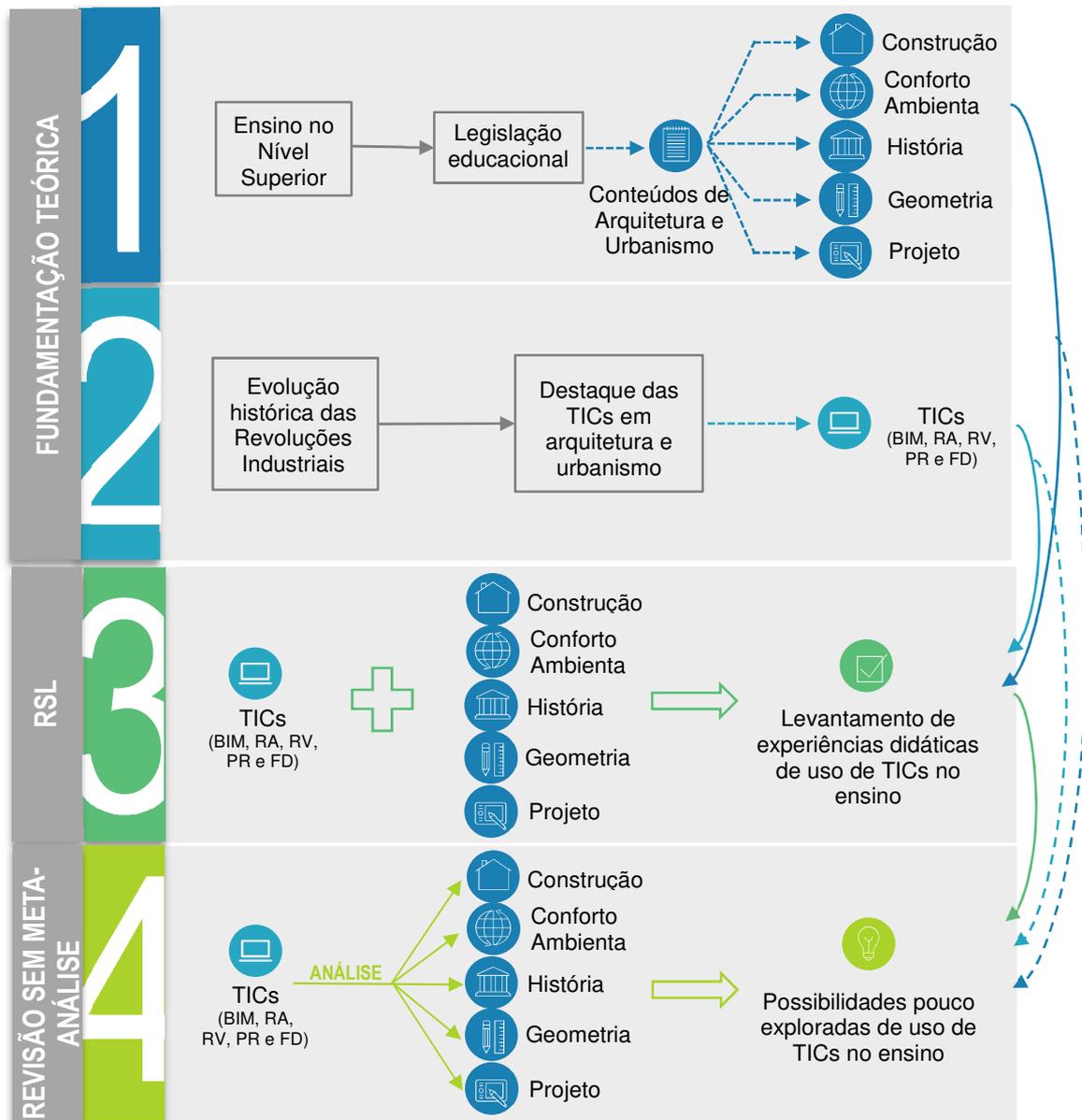
Para o desenvolvimento do trabalho, o procedimento metodológico da presente pesquisa aplicada é qualitativo, quanto a abordagem do problema, e exploratório e descritivo, quanto aos objetivos. Em relação aos procedimentos técnicos, foram adotadas a pesquisa bibliográfica e pesquisa documental para selecionar documentos relacionados ao ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo e às Tecnologias de Informação e Comunicação.

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas e cada etapa corresponde a um capítulo da dissertação, conforme mostra a Figura 2. A fundamentação teórica foi realizada nas etapas 1 e 2 que correspondem, consecutivamente, aos capítulos 2 e 3. Essas etapas produziram seis informações que foram utilizadas nas etapas posteriores, que são: conteúdos de “construção”, conteúdos de “conforto ambiental”, conteúdos de “história”, conteúdos de “geometria”, conteúdos de “projeto” e TICs.

Em seguida, realizou-se uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) que analisou publicações que tratam sobre experiências didáticas que exploraram tecnologias digitais no ensino de arquitetura e urbanismo compondo na etapa 3 (capítulo 4). Para realizar a RSL, foi utilizado como base as categorias das áreas do saber das

Diretrizes Curriculares, classificadas na subseção 2.2.2, e as TICs apontadas no capítulo 3, para buscar a relação das tecnologias digitais com o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Ou seja, as publicações da etapa 3 foram examinadas com base nas informações levantadas nas etapas 1 e 2.

Figura 2 - Método da pesquisa



Fonte: Autor

Por fim, a análise dos resultados da etapa 3 em conjunto com as informações das etapas 1 e 2, permitiram vislumbrar possibilidades pouco exploradas de utilização de TICs no ensino, culminando na etapa 4 (capítulo 5). Essa última etapa se baseou na revisão de literatura sem meta-análise para verificar publicações que tratam sobre

diferentes usos das TICs que podem ser adaptados e aplicados ao meio acadêmico. Os métodos escolhidos para seleção de textos das etapas 3 e 4 são abordados com mais detalhes no início dos capítulos 4 e 5, respectivamente.

Estruturação da dissertação

A dissertação foi estruturada em seis capítulos. Após a introdução, o **segundo capítulo** trata sobre o ensino no nível superior considerando como foco a figura do docente universitário. Em seguida, são levantados aspectos relacionados ao papel do professor de arquitetura e urbanismo e à contextualização do ensino de arquitetura, relacionando seu surgimento com as legislações educacionais e profissionais incidentes na área. Por fim, verifica-se como está sendo tratada a tecnologia no ensino e a importância da motivação e da curiosidade.

O **terceiro capítulo** introduz a arquitetura no contexto histórico das revoluções industriais, objetivando compreender como a arquitetura e a construção civil se comportaram frente às novas necessidades da sociedade, que foram surgindo com as evoluções tecnológicas. Em seguida, são apresentadas as TICs ligadas à arquitetura que se destacaram no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais.

O **quarto capítulo** utiliza como base as informações dos capítulos 2 e 3 para buscar e analisar publicações que tratam sobre experiências didáticas que exploram tecnologias digitais no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

O **quinto capítulo** aborda possibilidades pouco exploradas de utilização de TICs no ensino a partir da leitura de trabalhos que utilizam as TICs para fins profissionais ou em outros campos, mas que demonstram potencial de serem aplicados no meio acadêmico.

Por último, as **considerações finais** sintetizam os resultados obtidos, especifica se o objetivo e as questões da pesquisa foram alcançados, evidencia os benefícios do uso de tecnologia para os professores e alunos assim como as barreiras a serem enfrentadas pelos docentes. Também trata do domínio das TICs e ferramentas que o professor precisa ter, expõe a contribuição e limitações da pesquisa e, por fim, traz sugestões para trabalhos futuros.

REFLEXÃO SOBRE OS CONTEÚDOS ENSINADOS EM ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo inicia com uma apresentação geral sobre didática no nível superior considerando como foco a figura do docente universitário. Em seguida, são levantados aspectos pedagógicos relacionados a formação do professor de arquitetura e urbanismo. Após, faz-se a contextualização do ensino de arquitetura relacionando seu surgimento com as legislações educacionais e profissionais incidentes na área. A legislação educacional em vigor é apresentada e são destacados os conteúdos obrigatórios do curso de graduação em arquitetura e urbanismo, que serão utilizados nos próximos capítulos. Por fim, verifica-se como está sendo tratada a tecnologia no ensino e a importância da motivação e da curiosidade.

2.1 Considerações sobre a didática do ensino superior

A eficácia do ensino superior depende de três variáveis: o aluno, o professor e a organização do curso (GIL, 2015b). Essa seção prioriza a variável do professor universitário que possui o papel de facilitador da aprendizagem e de "mediador entre o conteúdo e o entendimento dos alunos" (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012, p. XX).

Diferente dos professores do ensino médio e fundamental que passam por uma formação pedagógica no curso de bacharelado ou licenciatura, o professor universitário, mesmo possuindo título de Mestre ou Doutor, na maioria dos casos não passam por qualquer processo de formação pedagógica ficando, assim, uma lacuna em sua formação (RHEINGANTZ, 2000; GIL, 2015a, 2015b). Um exemplo dessa situação ocorre no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo que apenas possui bacharelado e a maioria dos cursos de Pós-graduação *stricto sensu* não busca desenvolver uma preparação pedagógica para os futuros docentes.

Como consequência desse cenário, os procedimentos "adotados são selecionados a critério do docente, mesmo quando este não sabe, conscientemente, que o faz" e "em grande parte, os professores reproduzem em sala o mesmo modo como foram ensinados, ou então o negam, adotando uma postura oposta" (RODRIGUEZ, 2008, p. 23). Dessa maneira, as questões didáticas recebem menos atenção no nível superior e uma justificativa para isto é o fato desse professor lidar com adultos (GIL, 2015a, 2015b). Seguindo este raciocínio, o mesmo autor cita que normalmente é priorizado no docente universitário o domínio do conteúdo que leciona e

experiência profissional. Svinicki e McKeachie (2012) reforçam que o ensino eficaz demanda mais do que aquisição de competências.

Apesar dessa lacuna na formação em docência superior, o professor possui papel fundamental na formação dos estudantes e, para isso, precisa de “habilidades pedagógicas suficientes para tornar o aprendizado mais eficaz” (GIL, 2015b, p.1). O docente dirige as atividades de aprendizagem dos alunos objetivando que eles sejam responsáveis pelo próprio aprendizado, sendo o processo de ensino uma combinação da direção do professor com a atividade autônoma do aluno (IBE, s/d).

Para o professor universitário desenvolver seus próprios métodos, ele precisa entender a teoria básica do ensino e da aprendizagem (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012), que possuem significados diferentes. Alguns autores apresentam visões divergentes com relação a definição de ensino e aprendizagem. Ensino, segundo Gil (2015b), se relaciona com o professor como elemento principal da transmissão de conhecimentos. Por outro lado, Freire (1996, s.p.) acredita que “ensinar não é transmitir conhecimento” e sim “criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção”. Já Saviani (1999, p. 57), ao falar sobre a Escola Nova, considera o ensino centralizado “nas motivações e interesses da criança [aluno] em desenvolver os procedimentos que a conduzam à posse dos conhecimentos capazes de responder às suas dúvidas e indagações”, ou seja, privilegia o “processo de obtenção de conhecimento” do aluno.

A aprendizagem, para Turra et al. (1975), tem o propósito fundamental de modificar o comportamento do aluno. Da mesma forma, Burton e Mursell (1969 apud TURRA et al., 1975, p. 123) expressam que “não é uma simples acumulação de conteúdos, mas uma influência vital e construtiva no sentido de uma melhor maturidade mental, emocional e social”. Gil (2015b) acredita que aprendizagem tange o aluno na descoberta e aquisição de conhecimentos. E para Saviani (1999, p. 21), a aprendizagem ocorre em “decorrência espontânea do ambiente estimulante e da relação viva que se estabelecerá entre os alunos e entre estes e o professor”.

Assim, “o ato de ensinar não implica necessariamente o aprendizado daquele que o recebe” e “o aprendizado dos estudantes é influenciado pela maneira como o professor procura adequar as estratégias de ensino às necessidades e às expectativas dos estudantes” (GIL, 2015b, p. 79).

Esses diferentes pontos de vista ocorrem por existirem abordagens pedagógicas discordantes que adotam perspectivas distintas com relação ao papel do professor, do aluno, dos objetivos educacionais, do conteúdo programático, entre outros. Essas abordagens são tendências da educação categorizadas em escolas pedagógicas. As características dessas escolas foram resumidas no Quadro 1 elaborado pela equipe técnica do CENAFOR (1988).

Quadro 1 - Escolas pedagógicas

TENDÊNCIAS DA EDUCAÇÃO COMPONENTES CURRICULARES	ESCOLA TRADICIONAL	ESCOLA NOVA	ESCOLA TECNICISTA	ESCOLA CRÍTICA
PROFESSOR	- É o transmissor de conteúdo aos alunos O PROFESSOR	- É o facilitador da aprendizagem ORIENTADOR	- É o técnico que seleciona/organiza e aplica um conjunto de meios que garantem a eficiência e eficácia do ensino.	- É o educador que direciona e conduz o processo Ensino-aprendizagem. - Autoridade competente. EDUCADOR
ALUNO	- Um ser "passivo" que deve assimilar os conteúdos transmitidos pelo professor.	- Um ser "ativo"; centro do processo ensino-aprendizagem	- Um elemento para quem o material é preparado	- Uma pessoa concreta, objetiva, que determina e é determinada pelo social/político/econômico/individual: (pela história)
OBJETIVOS EDUCACIONAIS	- Obedecem à sequência lógica dos conteúdos - Não são muito complicados - Baseados em documentos legais	- Obedecem ao desenvolvimento psicológico do aluno AUTO-REALIZAÇÃO	- Operacionalizado e categorizados a partir de classificações: gerais (educacionais) e específicas (instrucionais) VERBOS PRECISOS	- Definidos a partir das <u>necessidades concretas</u> do contexto histórico-social no qual se encontram os sujeitos.
CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS	- Selecionados a partir da cultura universal acumulada, organizados em disciplinas. QUANTIDADE DE CONHECIMENTOS	- Selecionados a partir dos interesses dos alunos DESENVOLVIMENTO PSICOLÓGICO	- Qualquer conteúdo ESTRUTURADOS SEGUNDO OS OBJETIVOS	- Selecionados a partir de culturas dominantes (ciência, filosofia, arte, política, história, ...) APROPRIAÇÃO PARA SUPERAÇÃO
METODOLOGIA	- Aula centrada no Professor (expositiva) - Exercícios de fixação (leituras-cópias)	- Atividades centradas no aluno: . trabalhos em grupo/pesquisas . jogos/criatividade . experiência	- Ênfase muito grande nos meios: recursos audiovisuais, instrução programada, tecnologia de ensino, ensino individualizado (módulos instrucionais), máquinas de ensinar	- Distingue claramente os papéis de professor e aluno para fazer a articulação entre eles – utiliza-se de todos os meios que possibilitem a apreensão crítica dos conteúdos
AVALIAÇÃO	- Valorização dos aspectos cognitivos com ênfase na memorização. AVALIAÇÃO PARA O PROFESSOR	- Valorização dos aspectos afetivos (atitudes) com ênfase em autoavaliação. AVALIAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DO ALUNO	- Dos objetivos propostos com ênfase na produtividade do aluno sob a forma de um sistema de avaliação. COMPORTAMENTO DE ENTRADA E SAÍDA	- Está preocupada com a superação do estágio do senso comum (desorganização do conteúdo) para a consciência crítica (sistematização dos conteúdos)
ALUNO EDUCADO	- Domina o conteúdo cultura universal transmitido pela escola.	- Alunos criativo, que "aprendeu a aprender" - Participativo	- O aluno eficiente - produtivo - que lida "cientificamente" com os problemas da realidade.	- O aluno que domina solidamente os conteúdos e, portanto, percebe-se determinado e capaz de operar – conscientemente – mudanças na realidade.
ESCOLA	- Privilégio das camadas mais favorecidas. "AUTORITÁRIA"	- Escola proclamada para todos. 'DEMOCRÁTICA'	- Sociedade sem escola: . tele-educação . ensino à distância . ensino não formal	- É muito importante e deve ser de boa qualidade para todas as camadas da população.
ORGANIZAÇÃO DA ESCOLA	- Funções claramente definidas e hierarquizadas NORMAS DISCIPLINARES RÍGIDAS	- Funções se confundem (autoridade disfarçada) AFROUXAMENTO DAS NORMAS DISCIPLINARES	- Modelo empresarial aplicado à escola - Divisão entre planejamento (quem planeja) e execução (quem executa)	- A organização é um meio para que a escola funcione bem nos seus múltiplos aspectos.
INTERAÇÃO PROFESSOR- ALUNO	- Na maioria das vezes uma interação autoritária.	- Na maioria das vezes uma interação "democrática" – autoritarismo diluído na fisionomia de camaradagem	- Esta questão não está explicitada nesta tendência.	- O diálogo é valorizado, o aluno respeitado, professor é professor e educando é o aluno. O professor interage com o aluno também em função do conteúdo do ensino.

Fonte: Este trabalho foi elaborado pela equipe técnica do CENAFOR (Janete B. da Silva, Judite Daré, José C. Fusari, Luiz A. C. Franco, Mário Sérgio Cortella, Selma Pimenta, Sueli Giamelaro, Osvaldo V. Avancini) responsável pelo Projeto de Capacitação de Recursos Humanos das ETF's - Curso de Atualização Pedagógica para Coordenadores e Especialistas. SENAFOR, São Paulo, 1988.

Conforme observado no Quadro 1, cada escola possui uma abordagem pedagógica, contudo, certos conteúdos funcionam melhor com o sistema da escola tradicional, enquanto outros são trabalhados de forma mais criativa por outra escola. Dessa forma, o professor, após realizar uma formação em pedagogia, deve se apropriar das escolas conforme a situação e o conteúdo a ser abordado.

Vale destacar que essa dissertação não advoga a favor de nenhuma escola apresentada do quadro acima, pois acredita-se que o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo usando tecnologias digitais pode ser adotado tanto por professores que se afiliam à escola crítica quanto à escola tradicional. Uma vez que os docentes são livres para adotarem as tecnologias conforme suas próprias crenças no processo de ensino-aprendizagem.

No processo de ensino, deve haver um equilíbrio entre ensino-aprendizagem, ou seja, a forma como o docente formado em pedagogia realiza o planejamento do ensino deve levar em consideração tanto o conteúdo a ser ensinado quanto a capacidade de aprendizagem dos alunos. O professor é responsável pela qualidade do ensino e, a fim de obter um bom resultado, define objetivos e direciona ações pedagógicas a serem desenvolvidas ao longo do ano ou do semestre, que se refere ao planejamento do processo de ensino-aprendizagem (KLOSOWSKI; REALI, 2008).

Desse modo, fica nítida a importância do planejamento no âmbito educacional. Sobre isso, Klosowski e Reali (2008, p. 3) indicam autores - entre eles Padilha (2001), Lück (2002) e Gandin (2005) - que concordam que o planejamento é a “previsão de uma ação a ser desenvolvida e o pensar sobre os melhores meios para atingir os fins”. Similarmente, Parra (1972 apud TURRA et al., 1975) considera que o planejamento significa decidir sobre “o que pretendemos realizar, o que vamos fazer, como vamos fazer, e o que e como devemos analisar a situação, a fim de verificar se o que pretendemos foi atingido”. Portanto, o planejamento é um ato de decisão (LUCKESI, 2008) e essas decisões são registradas em documentos chamados planos que são divididos, segundo Gil (2015b), em **plano de disciplina**, **plano de unidade** e **plano de aula**. Os conceitos desses planos estão associados à escola tecnicista e tradicional. É importante frisar que os docentes deveriam ter uma prévia formação em pedagogia para elaborar esses diferentes planos, que serão vistos a seguir.

O **plano de disciplina**, segundo Mattos (1968 apud TURRA et al., 1975, p. 236), corresponde ao “pré-estabelecimento do trabalho a ser desenvolvido, enquanto durar o curso”. Já para Gil (2015b) esse plano refere-se às ações a serem desenvolvidas durante o ano ou semestre letivo e, de modo geral, possui informações sobre a identificação do plano, objetivos gerais, conteúdo programático, ementa, bibliografia,

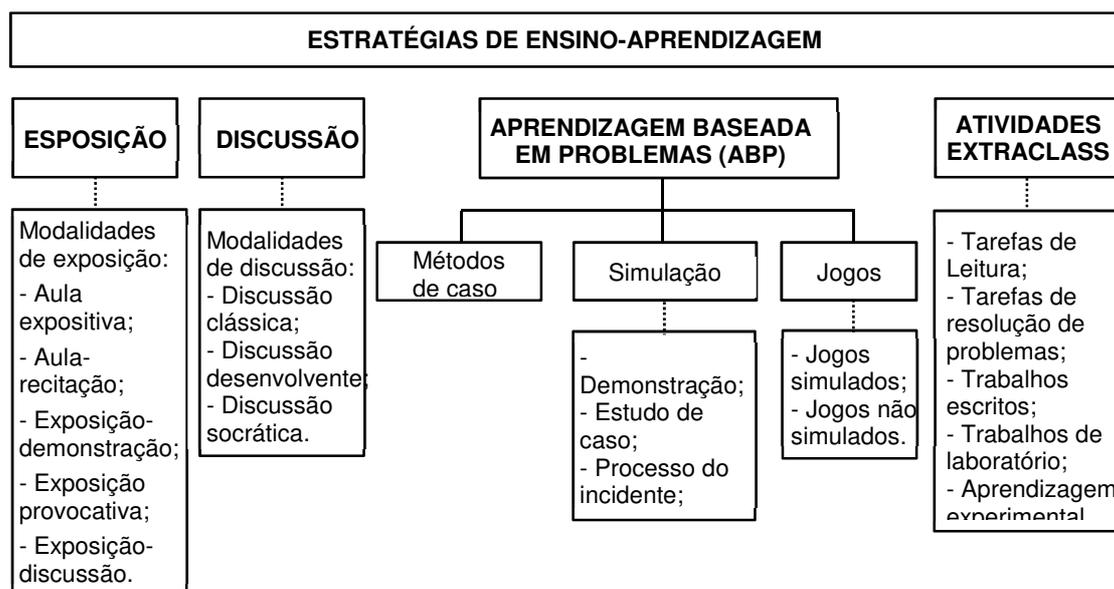
estratégias de ensino, recursos didáticos, avaliação e cronograma. Dessa maneira, a seguir são especificados alguns componentes do plano de disciplina.

- a) **Objetivos:** referem-se a uma “definição clara e precisa do que se espera que o aluno seja capaz de fazer após a conclusão de um curso, disciplina, unidade ou aula” (GIL, 2015b, p. 109). Em contrapartida, autores da escola crítica defendem que os objetivos sejam estabelecidos com os alunos a partir de suas “necessidades concretas do contexto histórico-cultural” (CENAFOR, 1988). Segundo Svinicki e McKeachie (2012), os objetivos podem ser classificados em três domínios: (a) cognitivo - se refere aos objetivos relacionados aos conhecimentos, informações e capacidade intelectual, normalmente é o que mais recebe destaque no ensino superior; (b) afetivo - está ligado a sentimentos, emoções ou atitudes; e (c) psicomotor - enfatiza o trabalho de natureza neuromuscular.

- b) **Conteúdo programático:** diz respeito aos assuntos que serão estudados na disciplina visando contribuir para os objetivos de aprendizagem traçados (GIL, 2015b). Turra et al. (1975, p. 242) destacam que os conteúdos novos devem relacionar-se e integrar-se com conhecimentos já aprendidos pelos alunos, assim, o docente selecionará informações “para o alcance dos objetivos, organizando-os em sequencias de aprendizagem”. Em vista disso, a seleção de conteúdos está diretamente relacionada a definição de objetivos (LEAL, 2005). Svinicki e McKeachie (2012) destacam que também é importante pensar nas atividades fora da sala de aula, momento em que a maioria do aprendizado acontece, por isso os trabalhos relacionados aos assuntos tratados em aula são importantes. Os conteúdos relacionados à arquitetura e urbanismo serão especificados na seção 2.2.2.

- c) **Estratégias de ensino:** segundo Leal (2005, p. 3), “é o caminho escolhido pelo professor para organizar as situações de ensino-aprendizagem”. Já Turra et al. (1975, p. 134) definem como “maneiras particulares de organizar as condições externas à aprendizagem, com a finalidade de provocar as modificações comportamentais desejáveis no aluno” e podem ser técnicas de ensino individualizado e em grupo. Entretanto, para selecionar a estratégia de ensino é necessário ter conhecimento dos diferentes tipos de estratégias. A Figura 3 reúne as estratégias de ensino-aprendizagem citadas por Gil (2015a, 2015b). Svinicki e McKeachie (2012, p. 19) acrescentam que “os professores mais bem-sucedidos provavelmente variam os métodos para se adequarem a seus objetivos”.

Figura 3 - Estratégias de ensino-aprendizagem recomendadas para o Ensino Superior



Fonte: Autor com base em GIL (2015a, 2015b)

Conforme pode ser observado na figura acima, a estratégia de exposição possui cinco modalidades e é o método mais antigo que se refere a “prelação verbal utilizada pelos professores com o objetivo de transmitir informações a seus alunos” (GIL, 2015a, p. 68).

A discussão, também chamada de debate, possui três modalidades e, segundo Svinicki; McKeachie (2012, p. 39), é uma das “ferramentas mais valiosas do repertório do professor” com relação ao método de aprendizagem ativa, que se refere a uma “experiência de aprendizagem na qual os alunos refletem sobre determinado assunto”. De acordo com os mesmos autores, o debate faz com que os alunos prestem atenção e pensem de forma ativa tendo maior probabilidade de memorização.

Já a aprendizagem baseada em problemas (ABP) pode ser aplicada com três estratégias: método de caso; simulação e jogos (GIL, 2015a, 2015b). Segundo Souza e Dourado (2015, p. 184-185), ABP refere-se a

uma estratégia de método para aprendizagem, centrada no aluno e por meio da investigação, tendo em vista à produção de conhecimento individual e grupal, de forma cooperativa, e que utiliza técnicas de análise crítica, para a compreensão e resolução de problemas de forma significativa e em interação contínua com o professor tutor.

As atividades extraclasse correspondem às “estratégias de ensino com o mesmo *status* das que ocorrem em sala” e possuem cinco modalidades, uma vez que a maior parte do aprendizado dos alunos

acontece fora da sala de aula e o professor deve fazer com que essas atividades se integrem (GIL, 2015b, 197-198).

Para escolher a estratégia de ensino mais apropriada para uma disciplina, Svinicki e Mckeachie (2012) assinalam que primeiro deve-se ter clareza dos objetivos do curso para, então, decidir as técnicas mais adequadas à filosofia de ensino e às habilidades do professor, à turma com que se está trabalhando e aos objetivos específicos que serão enfatizados em um determinado momento do curso.

Naturalmente, a forma de adoção das ferramentas digitais no processo de ensino vai definir uma determinada estratégia de ensino-aprendizagem. Entretanto, não é objetivo dessa pesquisa defender uma estratégia em detrimento de outra, mas apresentar as alternativas tecnológicas disponíveis aos docentes responsáveis pelas disciplinas do curso de arquitetura e urbanismo.

- d) **Recursos didáticos:** os recursos a serem utilizados pelo professor na aula vão desde o quadro de giz até o projetor (GIL, 2015b). Todavia, Leal (2005) cita que com o avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação, a tecnologia passou a ser um recurso de ensino importante, além de serem uma fonte de pesquisa dentro e fora da sala de aula. Svinicki e Mckeachie (2012) destacam que se a tecnologia for utilizada de maneira adequada, pode promover oportunidades de interação entre os alunos e conteúdos. A seção 2.3 tratará mais sobre a ensino com tecnologia.
- e) **Avaliação:** tem a função de diagnosticar o avanço dos alunos durante o curso (LEAL, 2005), verificando se os objetivos foram atingidos (GIL, 2015b). De acordo com Svinicki e Mckeachie (2012, p. 78-87), “avaliação não é sinônimo de teste” e “devem ser experiências de aprendizagem”. Os mesmos autores acrescentam que “é possível avaliar o aprendizado do aluno com atividades a serem feitas dentro e fora da sala de aula”. Klosouski e Reali (2008) relatam que a avaliação deve ser feita durante todo o processo de ensino e, não apenas no final, sendo um *feedback* do planejamento do ensino. Ainda sobre esse aspecto, as autoras (2008, p. 6) destacam que através da avaliação

se percebem os progressos dos alunos, descobrem-se os aspectos positivos e negativos que surgem durante o processo e busca-se, através dela, uma constante melhoria na elaboração do planejamento, melhorando consequentemente a prática do professor e a aprendizagem do aluno.

O **plano de unidade**, de acordo com Turra et al. (1975, p. 248), trata-se de “uma previsão mais específica e analítica do trabalho a ser desenvolvido durante um determinado período-tempo”. E acrescenta que um bom plano de unidade leva em consideração o nível psicológico do aluno, sentido em si, sentido dentro da sequência, cooperação, integração e estrutura total. Gil (2015b) cita que o plano de unidade possui os mesmos componentes do plano de disciplina, porém o primeiro é mais minucioso, assim, os conteúdos, as estratégias de ensino, os recursos e os procedimentos de avaliação são mais detalhados.

O **plano de aula** versa sobre a sequência do que será desenvolvido em cada aula especificando o que será utilizado para a realização da aula (conteúdos, procedimento e recursos) e indicando o comportamento esperado dos alunos, “buscando sistematizar todas as atividades que se desenvolvem no período de tempo em que o professor e aluno interagem, numa dinâmica de ensino-aprendizagem (TURRA et al., 1975, p. 259). Gil (2015b, p. 106) adiciona que esse planejamento é mais restrito do que o plano de unidade e o professor define “os conteúdos, cuidando para que cada um de seus tópicos seja desenvolvido mediante a utilização das estratégias e dos recursos mais adequados, com rigorosa previsão do tempo e das atividades que ficarão a cargo dos alunos”.

Ressalta-se, portanto, a importância da didática nos cursos superiores e a necessidade de desenvolver habilidades pedagógicas nos professores universitários, buscando um equilíbrio entre ensino e aprendizagem. Também foi observada a relevância do planejamento no âmbito educacional, principalmente no planejamento do ensino, que é função do docente. Com relação a escolha das estratégias de ensino-aprendizagem, independentemente do tipo de curso, é possível adotar diferentes estratégias em uma única disciplina. E, na verdade, o fator que mais influencia a escolha do método é o tempo disponível do professor para fazer o planejamento e preparar as aulas.

Cabe realçar que a pesquisa não pretende montar um plano de aula, de unidade ou de disciplina para o professor, pois isso depende do perfil de cada docente e de sua abordagem pedagógica. O intuito foi de exibir aspectos relacionados à formação do professor universitário, contudo, a dissertação apresentará maneiras do docente incrementar suas aulas com tecnologia e, ainda, estimular aqueles alunos a terem interesse nessas tecnologias digitais.

2.2 Características do ensino de arquitetura e urbanismo: o papel do docente

Os problemas decorrentes da falta de formação pedagógica dos professores universitários também podem ser observados no ensino de arquitetura e urbanismo. Dutton (1991, p. xvi apud RHEINGANTZ, 2005) indica que os professores de arquitetura estão mais interessados em "desenvolver a teoria e a prática da arquitetura do que em desenvolver a teoria e a prática da educação". Essa afirmação pode ser associada com a visão de Gil (2015a,2015b) de que a ausência de formação pedagógica dos docentes leva à não valorização de práticas didáticas.

E esse cenário foi agravado a partir da década de 1980, segundo Salvatori (2008, p. 74), quando o “estabelecimento de planos de carreira universitária deu lugar à profissionalização acadêmica”, significando o início de um processo de substituição de professores com atuação prática profissional por outros com trajetória tipicamente intelectuais. Esse processo é chamado por Rheingantz (2005, p. 45) de transição do modelo de arquitetos-que-dão-aula para pesquisadores-que-dão-aula, cujas escolas de arquitetura estão passando e ambos formatos de profissionais demonstram “pouco interesse pela teoria e prática da educação”. Pensando da mesma forma, Castilho (2014a) reforça dizendo que esse episódio leva a distorções na formação profissional dos estudantes devido à separação da formação acadêmica da prática profissional. Da mesma forma, Carvalho e Savignon (2012, p. 9) comentam que o fato de muitos docentes apenas lecionarem, “deixando em segundo plano o desenvolvimento de projetos de arquitetura”, os leva a não se atualizar sobre as novas tendências do mercado de trabalho.

Essas citações reforçam a necessidade dos professores de arquitetura e urbanismo se familiarizarem com as diferentes escolas pedagógicas e as implicações de cada uma delas, especialmente quanto aos papéis dos atores envolvidos, conforme mostrado no quadro de GENAFOR na seção anterior.

Devido à perspectiva de Schön (2000, p. 25, grifo autor) de que “ao estudante, não se pode *ensinar* o que ele precisa saber, mas se pode instruir”, o autor considera o docente mais como um orientador/instrutor cuja atividade principal é de demonstrar, aconselhar, questionar e criticar. Em contrapartida, Rodriguez (2008, p. 33) apresenta-se favorável à ideia de que arquitetura pode ser ensinada, uma vez que o “docente deve mesclar a prática repetitiva (a reiteração continuada de uma mesma atividade de aprendizagem) com a reflexiva” por meio da transformação do conhecimento implícito

em explícito refletindo sobre o que aprendeu e gerando um metaconhecimento¹. A mesma autora passa a mensagem de que o ensino é uma via de mão dupla (docente e discente), contudo o professor deve guiar o processo de ensino-aprendizagem, e acrescenta que todos os docentes são responsáveis por promover a integração entre as disciplinas do semestre e do currículo, e não apenas o professor de projeto e sua disciplina².

A estruturação do curso de arquitetura e urbanismo, bem como sua contextualização e legislação serão vistas a seguir.

2.2.1 Contextualização do ensino e da legislação de arquitetura e urbanismo

Historicamente, considera-se o início do ensino de arquitetura no Brasil associado à chegada de Grandjean de Montigny, junto com a Missão Francesa, em 1816. Naquela época, teve início a Escola de Belas Artes e os primeiros cursos de arquitetura passaram a ser ministrados. Apenas a partir de 1890, foi iniciada a dissociação do ensino de arquitetura e de Belas Artes, porém, só em 1937, ocorreu definitivamente a separação desses cursos (FAU-UFRJ, 2017a, 2017b). Até esse período, mais precisamente 1933, segundo Salvatori (2008), existiam apenas quatro cursos de arquitetura - Escola Nacional de Belas Artes (ENBA), no Rio de Janeiro, Escola Politécnica da USP, Escola de Engenharia do Mackenzie de São Paulo e EAUFMG. Nesse mesmo ano, houve a primeira regulamentação da profissão do arquiteto, junto com o engenheiro e agrimensor, através do **Decreto Federal nº 23.569, de 11 de dezembro de 1933**, de acordo com Castilho (2014a, 2014b), Simon (2010) e Maragno (2012).

Segundo a ABEA³ (2014), somente em 1962 houve a primeira regulamentação do ensino de arquitetura e urbanismo, definindo seu currículo mínimo e designando uma formação generalista para este profissional com a **Portaria Ministerial nº 159, de 4 de dezembro de 1962**, conforme mostra a Figura 4. Salvatori (2008, p. 55) cita que os anos posteriores, ditadura militar (1964 a 1985), foram a época em que o “ensino experimentou, talvez, seu pior período” e, entre 1969 e 1972, o governo militar promoveu a Reforma Universitária levando “a universidade clássica, voltada para o conhecimento” ser substituída pela “universidade funcional, direcionada para o mercado de trabalho”, segundo Chauí (2001 apud RHEINGANTZ, 2005, p. 51).

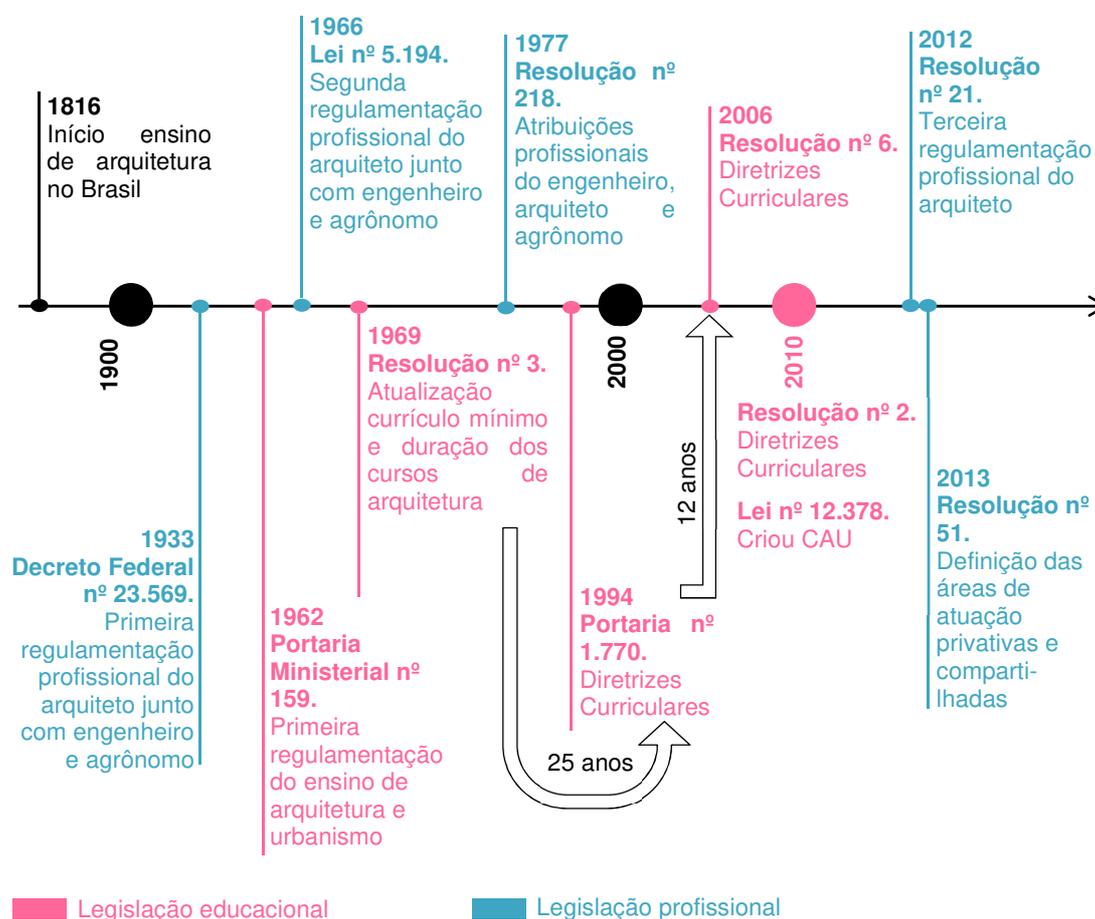
¹ Metaconhecimento refere-se ao papel da filosofia de realizar a compreensão das várias áreas do conhecimento e reorganizar esse conhecimento criando novos conceitos no sentido de renovar a compreensão da realidade (MONAT; CAMPOS; LIMA, 2008, p. 7).

² Esse pensamento ocorre pelo fato de projeto ser uma matéria multidisciplinar que integra conhecimentos das demais disciplinas do curso de arquitetura (RODRIGUEZ, 2008).

³ Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo

Entretanto, foi durante a ditadura que houve a segunda regulamentação profissional do arquiteto, junto com engenheiro e engenheiro agrônomo, por meio da **Lei nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966**, cujas atribuições desses profissionais foram definidas na **Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973, do CONFEA** (Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia) (CASTILHO, 2014a, 2014b; MARAGNO, 2012). Ainda na ditadura, em 1969, sucedeu uma atualização dos conteúdos mínimos e da duração dos cursos de arquitetura pela **Resolução nº 3, de 25 de junho de 1969**, que 25 anos mais tarde foi atualizada com as Diretrizes Curriculares da **Portaria nº 1.770, de 21 de dezembro de 1994**, que buscava aproximação aos padrões internacionais (ABEA, 2014; SALVATORI, 2008) e permitiu “a diversificação das grades entre as diversas instituições” além da “distinção das matérias em básicas e profissionais” (BARRETO; SALGADO, 2001, p. 5).

Figura 4 – Evolução da legislação profissional e educacional de arquitetura e urbanismo.



Fonte: Autor

A Portaria 1.770/94 marcou o retorno das instituições profissionais na discussão de questões relacionadas ao ensino de arquitetura e urbanismo e, de acordo com Salvatori (2008, p. 74-75), isso ficou mais evidente com as Diretrizes Curriculares de

2006 – **Resolução nº 6, de 2 de fevereiro de 2006** – que incluiu conteúdo relacionado ao “perfil profissional com base nas competências no mercado de trabalho” e que devem estar contempladas nos projetos pedagógicos dos cursos. Vale destacar que essa resolução tem origem em 1998 na proposta de alteração das diretrizes realizada pelo Grupo de Trabalho composto pelo CONEA, ABEA e FENEA, que foi baseado na Portaria 1.770 de 1994.

Em 2010, houve uma pequena alteração das Diretrizes Curriculares de 2006, modificação da alínea b do artigo 9º originando, assim, as Diretrizes Curriculares de 2010 - **Resolução nº 2, de 17 de junho de 2010** - vigente até hoje. No mesmo ano, foi promulgada a **Lei nº 12.378, de 31 de dezembro de 2010**, que criou o CAU (Conselho de Arquitetura e Urbanismo) e todas as definições que antes eram regidas por um conselho compartilhado com a engenharia e agronomia passaram a ser tratadas em um conselho próprio. Essa lei determinou a terceira regulamentação profissional do arquiteto que está detalhada na **Resolução nº 21, de 5 de abril de 2012** (ABEA, 2014; CASTILHO, 2014a, 2014b; MARAGNO, 2012).

Castilho (2014a) considera que as competências profissionais, estabelecidas pela Lei nº 12.378/2010, são amplas e multifárias. Por outro lado, o mesmo autor (p. 24, grifo do autor) afirma que essa lei “tem gerado propostas positivas de modificação da própria formação academia dos profissionais” e completa dizendo que “as competências legais devem se ajustar aos conteúdos das grades curriculares para que haja alguma correspondência entre formação acadêmica, feita pela Universidades, e titulação profissional, monopólio do CAU”.

O CAU, em 2013, atendeu a exigência da Lei 12.378/2010 sobre a especificação das áreas de atuação privativas do arquiteto e das áreas de atuação compartilhadas com outros profissionais regulamentados através da **Resolução nº 51, de 12 de julho de 2013** (CAU/BR, 2013). Contudo, Castilho (2014a) destaca que as resoluções não possuem força de lei geral por ser um ato administrativo normativo, portanto, podem ser questionados principalmente em relação às atividades não privativas.

No mesmo ano, a ABEA (2014) realizou um Seminário Nacional e Congresso da Associação Brasileira de Ensino de Arquitetura e Urbanismo (CONABEA) a fim de elaborar uma proposta de alteração das Diretrizes Curriculares de 2010. No segundo evento, o CAU foi convidado a participar e debater a proposta das Diretrizes Curriculares e, após discussões, foi aprovada uma proposta de modificação encaminhada ao CAU/BR e ao Conselho Nacional de Educação. Vale destacar que as Diretrizes em vigor foram promulgadas quando a Arquitetura e Urbanismo ainda fazia parte do CONFEA, cujos enfoques sugeridos para o setor eram diferentes do que o CAU almeja. Considerando isso e levando em consideração essa proposta de modificação e a nova

regulamentação das atribuições do arquiteto pela Lei nº 12.378/2010, pode-se dizer que as atuais DCN estão obsoletas em relação aos últimos acontecimentos.

A partir da contextualização histórica, essa pesquisa apresenta a legislação educacional em vigor incidente sobre os cursos de Arquitetura e Urbanismo por meio das Diretrizes Curriculares de 2010. Esse levantamento tem o propósito de apontar os conteúdos obrigatórios que devem ser ensinados ao longo do curso de arquitetura e urbanismo, que adiante será usado como base para apresentar possibilidades de integração das TICs nos diversos campos do conhecimento de arquitetura e urbanismo (capítulo 4 e 5).

2.2.2 Legislação educacional dos cursos de Arquitetura e Urbanismo

Visando estabelecer um equilíbrio entre prática e teoria, as Diretrizes Curriculares de 2010 (MEC, 2010, grifo nosso), no art. 6º, esclarecem que os conteúdos dos cursos devem estar distribuídos em dois Núcleos de Conhecimentos, sendo um teórico e outro profissional, além do Trabalho de Curso:

§ 1º O **Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação** será composto por campos de saber que forneçam o **embasamento teórico** necessário para que o futuro profissional possa desenvolver seu aprendizado e será integrado por: Estética e História das Artes; Estudos Sociais e Econômicos; Estudos Ambientais; Desenho e Meios de Representação e Expressão.

§ 2º O **Núcleo de Conhecimentos Profissionais** será composto por campos de saber destinados à **caracterização da identidade profissional** do egresso e será constituído por: Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo; Projeto de Arquitetura, de Urbanismo e de Paisagismo; Planejamento Urbano e Regional; Tecnologia da Construção; Sistemas Estruturais; Conforto Ambiental; Técnicas Retrospectivas; Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo; Topografia.

§ 3º O **Trabalho de Curso** será supervisionado por um docente, de modo que envolva todos os procedimentos de uma investigação técnico-científica, a serem desenvolvidos pelo acadêmico ao longo da realização do último ano do curso.

Nas competências e habilidades das DCN de 2010 (art. 5º), são apontados treze aspectos que devem ser desenvolvidos no futuro profissional. Esses aspectos, segundo análise da Portaria nº 1.770/1994, se referem às características das áreas de estudo dos conteúdos curriculares (art. 6º). Com isso, foi feito o Quadro 2 que traz a correspondência entre conteúdos curriculares e as competências e habilidades a serem incorporadas nos cursos de graduação de Arquitetura e Urbanismo.

As Diretrizes Curriculares definem que a Resolução nº 2, de 18 de junho de 2007, estabelece a carga horária mínima para o curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo, que deve ser de 3.600 horas com limite mínimo de cinco anos para integralização (MEC, 2007). Essa carga horária deve abranger, entre outras atividades, as atividades complementares e estágio curricular supervisionado. Os conteúdos e habilidades específicas que contribuam para o futuro profissional são desejáveis,

contudo, segundo Maragno (2012, s.p.), esses conteúdos não são ofertados devido a carga horária ocupada pelas habilidades essenciais estabelecidas pelo MEC. Dessa forma, o mesmo autor afirma que “a carga horária média dos cursos brasileiros é de 4.012 horas (4.268h nas instituições públicas e 3.968h nas instituições privadas)”.

Quadro 2 – Campos do saber que devem constar nos currículos dos cursos de Arquitetura e Urbanismo

Conteúdos curriculares (Art. 6º das DCN)		Competências e Habilidades (Art. 5º das DCN)
Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação	Estética e História das Artes	“IV - o conhecimento da história das artes e da estética, suscetível de influenciar a qualidade da concepção e da prática de arquitetura, urbanismo e paisagismo”
	Estudos Sociais e Econômicos	“I - o conhecimento dos aspectos antropológicos, sociológicos e econômicos relevantes e de todo o espectro de necessidades, aspirações e expectativas individuais e coletivas quanto ao ambiente construído”
	Estudos Ambientais	“II - a compreensão das questões que informam as ações de preservação da paisagem e de avaliação dos impactos no meio ambiente, com vistas ao equilíbrio ecológico e ao desenvolvimento sustentável!”
	Desenho e Meios de Representação e Expressão	“as habilidades de desenho e o domínio da geometria, de suas aplicações e de outros meios de expressão e representação, tais como perspectiva, modelagem, maquetes, modelos e imagens virtuais”
Núcleo de Conhecimentos Profissionais	Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo	“V - os conhecimentos de teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo, considerando sua produção no contexto social, cultural, político e econômico e tendo como objetivo a reflexão crítica e a pesquisa”
	Projeto de Arquitetura, de Urbanismo e de Paisagismo	“III - as habilidades necessárias para conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo e para realizar construções, considerando os fatores de custo, de durabilidade, de manutenção e de especificações, bem como os regulamentos legais, de modo a satisfazer as exigências culturais, econômicas, estéticas, técnicas, ambientais e de acessibilidade dos usuários”
	Planejamento Urbano e Regional	“VI - o domínio de técnicas e metodologias de pesquisa em planejamento urbano e regional, urbanismo e desenho urbano, bem como a compreensão dos sistemas de infraestrutura e de trânsito, necessários para a concepção de estudos, análises e planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional”
	Tecnologia da Construção	“VII - os conhecimentos especializados para o emprego adequado e econômico dos materiais de construção e das técnicas e sistemas construtivos, para a definição de instalações e equipamentos prediais, para a organização de obras e canteiros e para a implantação de infraestrutura urbana”
	Sistemas Estruturais	“VIII - a compreensão dos sistemas estruturais e o domínio da concepção e do projeto estrutural, tendo por fundamento os estudos de resistência dos materiais, estabilidade das construções e fundações”
	Conforto Ambiental	“IX - o entendimento das condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas e o domínio das técnicas apropriadas a elas associadas”
	Técnicas Retrospectivas	“X - as práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades”
	Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo	“o conhecimento dos instrumentais de informática para tratamento de informações e representação aplicada à arquitetura, ao urbanismo, ao paisagismo e ao planejamento urbano e regional”
	Topografia	“a habilidade na elaboração e instrumental na leitura e interpretação de levantamentos topográficos, com a utilização de aerofotogrametria, fotointerpretação e sensoriamento remoto, necessários na realização de projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo e no planejamento urbano e regional”
Trabalho de Curso	Nada consta	

Fonte: Adaptado de MEC (2010) e Brasil (2010)

Desse modo, entende-se que através das disciplinas obrigatórias, as DCN tentam promover um equilíbrio entre atividades teóricas, propostas no Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação, e atividades práticas e profissionais, ofertadas no Núcleo de Conhecimentos Profissionais.

Tomando como base as competências e habilidades das Diretrizes Curriculares, essa pesquisa agrupou as áreas do saber das DCN por temas similares em cinco categorias. Essas categorias são “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”, conforme mostra o Quadro 3. Uma diretriz utilizada na dissertação foi repetir o campo do saber ‘Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo’ em todas as categorias, uma vez que a pesquisa busca integrar tecnologias no ensino de arquitetura e urbanismo. Ao longo da dissertação, as áreas do saber serão citadas por meio dessas cinco categorias a fim de tratar todos os assuntos relacionados ao currículo obrigatório do curso de arquitetura e urbanismo.

Quadro 3 – Agrupamento das áreas do saber das DCN

Áreas do saber segundo o MEC	Categorias	Conteúdos a serem ensinados, segundo MEC (2010)
Tecnologia da Construção	“Construção”	materiais de construção; técnicas e sistemas construtivos; instalações e equipamentos prediais; organização de obras e canteiros; implantação de infraestrutura urbana; sistemas estruturais; domínio da concepção e do projeto estrutural; resistência dos materiais, estabilidade das construções; fundações.
Sistemas Estruturais		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Estudos Ambientais	“Conforto ambiental”	preservação da paisagem; avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável; condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas.
Conforto Ambiental		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Técnicas Retrospectivas	“História”	teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.
Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Desenho e Meios de Representação e Expressão	“Geometria”	habilidades de desenho; domínio da geometria; perspectiva; modelagem; maquetes; modelos; imagens virtuais.
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		
Estética e História das Artes	“Projeto”	história das artes e da estética; aspectos antropológicos, sociológicos e econômicos; conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo; habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; planejamento urbano e regional; urbanismo e desenho urbano; sistemas de infraestrutura e de trânsito; planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; levantamentos topográficos.
Estudos Sociais e Econômicos		
Projeto de Arquitetura, de Urbanismo e de Paisagismo		
Planejamento Urbano e Regional		
Topografia		
Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo		

Fonte: Autor

Isto posto, a seção a seguir discursa sobre a integração entre tecnologia e o processo educacional apontando, também, aspectos ligados à motivação do aluno e do professor.

2.3 Tecnologias digitais e o ensino de arquitetura e urbanismo

Antes de expor sobre tecnologia no ensino é importante destacar que os termos tecnologia e Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) são semelhantes e estão interligados, porém possuem conceitos diferentes. Tecnologia refere-se à “um produto da ciência e da engenharia que envolve um conjunto de instrumentos, métodos e técnicas que visam a resolução de problemas. É uma aplicação prática do conhecimento científico em diversas áreas de pesquisa” (GUIMARÃES; CABRAL, s/d, s.p.). Já Tecnologia da Informação e Comunicação diz respeito a junção das tecnologias de informática e das telecomunicações tendo a internet como sua maior manifestação (MIRANDA, 2007). Já para Willian e Sawyer (2007 apud BRIGITTE; RUSCHEL, 2016, p. 11) TIC trata-se de “um termo geral que se refere a toda tecnologia utilizada para processar, armazenar e distribuir informação”.

O uso e disseminação da tecnologia é um processo irreversível que traz muitas mudanças nas atividades cotidianas do ser humano e, também, para o ensino. Sobre isso, o movimento Todos Pela Educação (TPE) – criado em 2006, com o objetivo de assegurar Educação Básica de qualidade às crianças e jovens até o ano de 2022 - em conjunto com o Instituto Inspirare – instituto familiar com a finalidade de inspirar inovações que melhorem a qualidade da educação brasileira fundado em 2011 - desenvolveram um documento discutindo inovações tecnológicas na educação onde comentam:

Processos de ensino e aprendizagem tradicionais não respondem mais às demandas do mundo contemporâneo, muito menos ao perfil do aluno do século XXI. [...] O mundo mudou. As tecnologias digitais transformaram as relações, os sistemas de produção e as formas de geração e circulação do conhecimento. [...] Apesar de toda essa transformação, a escola pouco mudou. [...] Os professores continuam sendo formados para exercer a função de transmitir conteúdos. Até mesmo as tecnologias, quando incorporadas, apenas substituem antigas ferramentas, agregando pouco valor ao processo pedagógico (TPE; INSTITUTO INSPIRARE, 2014, p. 3)

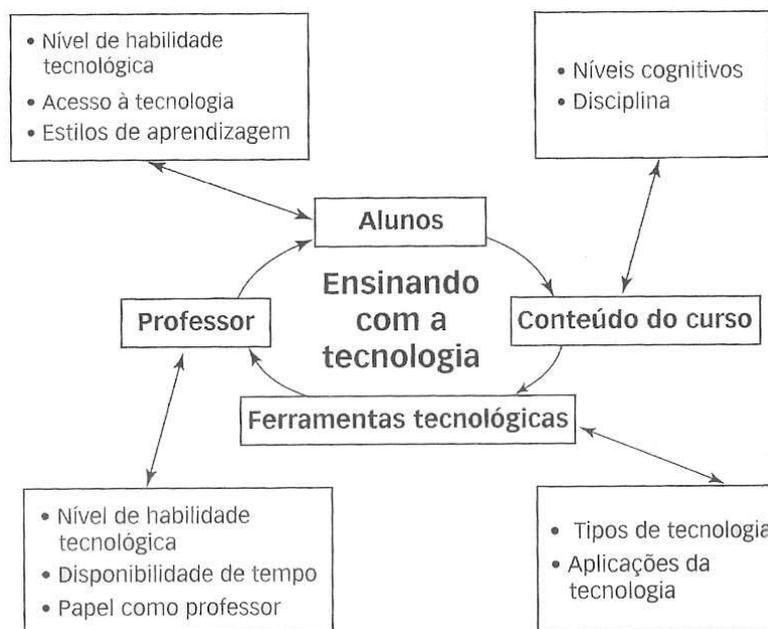
Conforme dito acima, os processos de ensino-aprendizagem precisam se adaptar às novas realidades do século XXI e, para isso, quanto mais o planejamento técnico e pedagógico tiver integrado, mais fácil será a contribuição para a aprendizagem dos alunos (TPE; INSTITUTO INSPIRARE, 2014). Contudo, para esse fim, Morin (2003, p. 99) levanta uma questão importante a ser considerada: “não se pode reformar a instituição sem uma prévia reforma das mentes, mas não se podem reformar as mentes

sem uma prévia reforma das instituições”. Essa questão indica que qualquer mudança do ensino, que é o caso proposto nesta pesquisa, passa pela necessidade de reformar a cabeça dos docentes, pois a tecnologia apenas será apropriada pelos professores se eles se interessarem e se disporem a aprender e aplicar a tecnologia.

Com relação aos processos de ensino-aprendizagem com uso de tecnologia, Gil (2015b, p. 220) aborda que “os recursos tecnológicos são hoje em tão grande número e têm passado por um processo de aperfeiçoamento tal que já se fala em tecnologia de ensino tanto no sentido *ware*, referente ao uso de equipamentos, quando no sentido *soft*, referente à utilização das teorias de aprendizagem”.

Contudo, segundo Svinicki e Mckeachie (2012) e Gil (2015b), na escolha de recursos tecnológicos, o professor deve levar em consideração quatro componentes: o próprio professor, os estudantes, os conteúdos do curso e as ferramentas tecnológicas, conforme mostra a Figura 5. E para haver “uma integração tecnológica o mais bem-sucedida” é necessário satisfazer cada um dos quatro elementos apresentados (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012, p. 251) e também é importante que os docentes conheçam sobre pedagogia e educação.

Figura 5 – Ensinando com tecnologia



Fonte: Svinicki e Mckeachie (2012)

Em relação ao professor, deve-se levar em consideração os seguintes aspectos: (a) experiência e habilidade com uso da tecnologia; (b) tempo “disponível para planejamento do curso e “seleção das estratégias de ensino adequada para sua escolha tecnológica”; (c) “como o professor vê seu papel no processo de ensino”; e (d) “como a integração tecnológica pode apoiar essa visão ou conflitar com ela” (SVINICKI;

MCKEACHIE, 2012, p. 255). Adicionalmente, resgatando os aspectos apontados no quadro CENAFOR da seção 2.1, é importante o docente ter conhecimento de pedagogia, conhecer as diferentes escolas pedagógicas e refletir *para que e a quem* ele servirá para, assim, encontrar um equilíbrio de *quando* usar tal tecnologia em sua disciplina.

No tocante aos alunos é recomendado avaliar a experiência prévia, pouco reconhecida pelos professores, e seu acesso à tecnologia, além da preferência e variedade de estilos de aprendizagem (citados na seção 2.1) que os estudantes trazem para a aula (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012).

Quanto ao conteúdo do curso, devem ser utilizados os recursos tecnológicos que contribuam para atingir os objetivos da disciplina. Assim, é preciso ter clareza dos conteúdos definidos, das estratégias de ensino, dos “conhecimentos, habilidades e atitudes esperados dos estudantes ao final do curso” e definir os domínios que desejam desenvolver no aluno: domínio cognitivo, domínio afetivo e domínio psicomotor (GIL, 2015b, p. 224). Os conteúdos obrigatórios do curso de arquitetura e urbanismo foram apresentados na seção 2.2.2 e, conforme dito anteriormente, o professor deve considerar não apenas o conteúdo a ser ensinado, mas também os objetivos que deseja alcançar com esse ensino e os outros pontos levantados acima. Da mesma forma, ocorre quando pretende-se utilizar recursos tecnológicos, isto é, devem ser selecionados aquelas tecnologias que contribuam para atingir os objetivos e comportamentos traçados.

Sobre as ferramentas tecnológicas, é importante analisar as tecnologias “de acordo com suas funções e sua relevância para o ensino” (SVINICKI; MCKEACHIE, 2012, p. 252). De acordo com Gil (2015b, p. 227), existem ferramentas tecnológicas desenvolvidas para alcançar objetivos específicos em determinadas áreas de conhecimento e outras ferramentas criadas com objetivos mais gerais e muitas vezes sem propósito educacional. O mesmo autor (p. 227) reforça que se torna necessário o conhecimento de diversas ferramentas, dos efeitos em relação à aprendizagem, “de sua aplicabilidade no contexto de determinada disciplina, se suas limitações”, dessa forma, os conhecimentos de tecnologia educacional são requeridos para melhorar a qualidade das aulas.

Santos (2014a) cita outras tendências tecnológicas na educação dentre as quais vale destacar: (a) *Blended learning (B-learning)* se trata do uso de recursos tecnológico dentro da sala de aula para que a aprendizagem seja eficaz; (b) *flipped classroom* (sala de aula invertida) se refere a um método que o alunos aprendem os conteúdos em salas virtuais, a distância, enquanto nas aulas presenciais são utilizadas para trabalhar os assuntos mais problemáticos, realizar exercícios, provas e discussões sobre os assuntos estudados, esse método tem sido adotado nas universidades americanas MIT

e Harvard; (c) *E-learning* significa aprender por meio de dispositivos eletrônicos conectados ou não à internet; (d) *gamification* incorpora elementos de jogos, como níveis e emblemas, em atividades educacionais onde o conteúdo e o currículo estão disponibilizados.

TPE e Instituto Inspirare (2014) citam que ainda existe um deslocamento entre as atividades desenvolvidas pelo aluno dentro e fora (intenso uso de tecnologia) da escola, de modo que a vivência escolar gera desinteresse e, conseqüentemente, altos índices de evasão. A respeito disso, Sancho (1998, p. 93) sugere que a integração das tecnologias no currículo perpassa por experiências extraclasse do aluno, ou seja, que as habilidades e aptidões desses alunos com recursos tecnológicos sejam aproveitadas em atividades didáticas visando adquirir “funções cognitivas coerentes com as pretensões educacionais da escola”. Isso é uma das propostas de Freire (1996, s.p.) quando ele cita: “Por que não estabelecer uma necessária ‘intimidade’ entre os saberes curriculares fundamentais aos alunos e a experiência social que eles têm como indivíduo?”

Um método citado por Braz (2016, p. 23) que demonstra a redução de reprovação e do nível de evasão é o ensino híbrido, ele parte do pressuposto que “existem várias formas de aprender, sendo que a aprendizagem ocorre sempre e em diferentes espaços”. Já TPE e Instituto Inspirare (2014) explica que ensino híbrido corresponde à uma mesclagem entre atividades com e sem uso da tecnologia. Sunaga e Carvalho (2015 apud BRAZ, 2016) destacam que as TICs não substituem as salas de aula tradicionais, apenas garantem que novos recursos sejam utilizados para integrar o aprendizado online com o presencial.

Tibúrcio, Braz e Natalino (2016) e Braz (2016) indicam que o ensino híbrido também se enquadra no ensino de arquitetura e urbanismo por utilizar tecnologias novas e tradicionais. Rheingantz (2016) afirma que tanto na arquitetura como no processo de projeto há um equilíbrio entre o processo analógico (croqui, maquete, desenho manual) e digital (desenho digital, maquete eletrônica), que se complementam. Pensando da mesma forma, Andrade (2012, p. 371) comenta que o processo de projeto performativo “apresenta estágios automatizados e/ou semi-automatizados, intercalados por estágios analógicos”, ou seja, existe um fluxo de informação analógico e digital bem como uma transição contínua entre essas informações. Com o mesmo olhar, Carvalho e Savignon (2012, p. 10) expõem

o fato de os alunos saberem operacionalizar os programas mais atuais não garante que dominem também as representações gráficas do desenho de arquitetura. Ora, se esta garantia não existe, não há como dispensar o aluno das disciplinas de desenho arquitetônico simplesmente pelo fato de já dominar a ferramenta de desenho digital, assim como não há, por enquanto, como

extinguir de vez as pranchetas e fazer com que o aluno tenha contato com os desenhos de arquitetura diretamente no computador.

A origem das discussões com relação à informática, arquitetura e ensino ocorreram ao longo da década de 1990, culminando em 1994 na regulamentação da Portaria nº 1.770, que implementou disciplinas de 'Informática aplicada à Arquitetura e Urbanismo' no currículo obrigatório deste curso (FARIAS SEGUNDO, 2010). Tiani (2007 apud FARIAS SEGUNDO, 2010) comenta que essa portaria foi um marco no ensino de projeto, entretanto, muitas escolas implantaram soluções apressadas sem a devida reflexão. Rego (2008 apud FARIAS SEGUNDO, 2010) explica que não houve uma conexão entre as disciplinas de informática e de projeto, e complementa que, no ateliê, a presença do computador parte dos alunos e não como estratégias pedagógicas no processo de ensino-aprendizagem de projeto. Para essa questão, Rocha (1999 apud FARIAS SEGUNDO, 2010, p. 29) discute que é importante mesclar conceitos de teoria e história de projeto com a habilidade de manipular o computador, para que o aluno não se torne “mero repetidor de paradigmas, tipos, tipologias ou geometrias vazias de conteúdo”.

Seguindo esse raciocínio, Carvalho e Savignon (2012) complementam que o arquiteto contemporâneo, além da formação multidisciplinar, deve ter conhecimentos em tecnologia digital, o que gera a necessidade de revisão do processo de formação dos profissionais, uma vez que se torna necessário capacitar esses profissionais para enfrentar os desafios da arquitetura digital. Todavia, os autores expressam que as universidades não estão acompanhando a velocidade das mudanças, tanto na atualização do currículo como na formação dos professores.

Uma das questões que deve ser revista para possibilitar a implementação de TICs no ensino diz respeito à formação e atualização dos docentes. Para TPE e Instituto Inspirare (2014), esse aspecto é fundamental para garantir o uso criativo e eficaz de tecnologia e, adicionam, que os professores precisam sair da zona de conforto, e vivenciar essas tecnologias aplicando-as no seu dia a dia para, posteriormente, utilizar na educação. Os mesmos autores (2014, p. 10) acrescentam que

A adoção de tecnologias na educação funciona melhor quando profissionais da área tecnológica se envolvem no planejamento pedagógico, em parceria com o corpo docente e a coordenação pedagógica. [...]. Quanto mais o planejamento técnico estiver integrado ao pedagógico, mais fácil será conjugar as possibilidades de infraestrutura com as práticas educativas e maior será o potencial de contribuição para a aprendizagem dos alunos.

Carvalho e Savignon (2012, p. 9) comentam que o fato de muitos docentes atuarem apenas como educadores, acabam não se atualizando sobre as novas tendências do mercado de trabalho, e complementam dizendo que

o aluno pode criar situações contraditórias sobre conceitos de arquitetura, principalmente quando o próprio professor faz uso de postura repulsiva com relação à adoção de novas formas de projeto assistido por computador. O que devemos fazer diante tal situação? Compreender o lugar que a computação gráfica tem hoje e saber manusear os programas mais utilizados talvez seja o início do caminho para que o professor se atualize e consiga adotar práticas pedagógicas que se utilizam destas ferramentas como partes integrantes do processo de projeto.

Além da atualização dos docentes, outra questão a ser tratada é a adequação dos espaços físicos para atenderem às necessidades tecnológicas. TPE e Instituto Inspirare (2014, p. 9) sugerem equipamentos para materialização da forma (cortadoras a *laser*, impressoras 3D e prototipagem rápida), além de ateliês com mesas digitalizadoras, recursos audiovisuais integrados e com acesso à internet, entre outros, que “dariam subsídios à projeção em tempos de arquitetura digital”.

Os autores Cabral Filho e Santos (1998 apud DITZ, 2004, p. 73)

propõem o uso do computador como ferramenta teórica e de projeto, não sendo descartada a hipótese de um ensino focado e dirigido para uma disciplina específica como Conforto Ambiental, Perspectiva Arquitetônica, História da Arquitetura, etc., mas enfatizam que deve haver uma reflexão para não se incorrer no mesmo erro do ensino tradicional do CAD, que, em muitos cursos, tendem a privilegiar o ensino restrito do *software* em detrimento de uma abordagem mais livre, especulativa e interativa.

O trecho acima expressa a crença dessa pesquisa de que ferramentas tecnológicas podem ser utilizadas no ensino teórico de diferentes conteúdos do curso de arquitetura e urbanismo e não apenas no ensino do próprio *software*. Com isso, os docentes podem usufruir das potencialidades trazidas pelas tecnologias e aplicá-las de diversas formas no ensino, seja o professor fazendo demonstrações em sala ou os alunos interagindo com a tecnologia. Exemplos dessas possibilidades serão apresentadas nos capítulos 4 e 5.

Por fim, vale ressaltar que existe uma tendência do arquiteto que não domina as ferramentas digitais terem dificuldades de encontrar lugar no mercado de trabalho e que, apesar das formas de trabalho se adaptarem às TICs (CARVALHO; SAVIGNON, 2012), a criatividade e o processo de concepção projetual é inerente ao arquiteto e a tecnologia surge como meio para realizar o projeto, facilitando e otimizando o processo.

2.3.1 Motivação e curiosidade no ensino

A motivação e a curiosidade são aspectos importantes a serem considerados no ensino tanto para o aluno quanto para o professor. Segundo Piletti (2004, p. 233-33), a motivação “consiste em apresentar a alguém estímulos e incentivos que lhe favoreçam determinado tipo de conduta” e para ocorrer a aprendizagem é importante motivar o aluno criando situações favoráveis a aprendizagem por meio de recursos, métodos e procedimentos. E acrescenta que para criar essa situação o professor deve: “conhecer

os interesses atuais dos alunos para mantê-los ou orientá-los e buscar uma motivação suficientemente vital, forte e duradoura para conseguir do aluno uma atividade interessante e alcançar o objetivo da aprendizagem”. Entretanto, o mesmo autor lembra a importância de o professor estar motivado ao ensinar, caso contrário, o aluno sente-se desanimado.

Cunha (1979 apud PILETTI, 2004 p. 242) comenta que teóricos educacionais declaram que a motivação é um fator importante para que a aprendizagem ocorra e reconhecem que uma “pessoa predisposta a aprender o faz com muito maior facilidade e significado”.

Svinicki e McKeachie (2012) mencionam que a motivação dos alunos e professores estão interligadas, uma vez que ter alunos motivados afeta a motivação do professor e, conseqüentemente, torna o ensino uma experiência mais prazerosa para o docente. Outro ponto levantado pelos autores (p. 157, grifo nosso) foi que a motivação intrínseca⁴ dos alunos pode ser promovida ao “tornar palestras e debates mais interessantes, **variar o formato instrucional**, [...] e **acrescentar elementos interativos** sempre que isso for adequado”, e adiciona que os “alunos se sentem mais motivados à ir a aula quando a experiência de aprendizagem coletiva ultrapassa claramente aquilo que pode ser copiado das anotações dos colegas”.

Dito isso, a tecnologia pode motivar o professor e o aluno. Segundo Braga et al. (2012), o fascínio que as tecnologias causam nas pessoas, especialmente nos estudantes, age como um catalisador do interesse pelos estudos. Portanto, pode-se afirmar que levar a tecnologia para a sala de aula pode ser uma maneira de estimular a aprendizagem e facilitar a fixação dos conteúdos.

A curiosidade refere-se àquilo que “faz perguntar, conhecer, atuar” (FREIRE, 1996, s.p.). Com isso, de acordo com o mesmo autor, ensinar requer curiosidade e se não há curiosidade, não aprendo nem ensino. Sobre a tecnologia, o mesmo autor relata o potencial de estímulos e desafios que a tecnologia causa nas crianças e adolescentes, assim como a curiosidade proporcionada pelos computadores.

Por fim, vale destacar que a adoção das Tecnologias de Informação e Comunicação em sala de aula pode exercer efeitos no processo de ensino e aprendizagem tanto em relação ao conteúdo tratado na disciplina, quanto em relação à ferramenta adotada pelo docente no ensino. Advoga-se, portanto, a favor da disseminação das ferramentas digitais no dia-a-dia do curso de arquitetura, e não apenas em uma disciplina específica de “Informática aplicada” – sem desmerecer a importância desta. Essa seção procurou relacionar os conteúdos discutidos neste

⁴ Segundo Svinicki e McKeachie (2012, p. 151), pessoas intrínsecas engajam-se em uma “atividade pelo valor da atividade em si, e não por causa de uma recompensa externa”.

capítulo 2, com o próximo capítulo, que tratará de Tecnologias de Informação e Comunicação.

2.4 Considerações sobre o capítulo

Esse capítulo versou sobre a questão do ensino e fez uma exposição geral de particularidades relacionadas a formação do docente. Tratou-se da indispensabilidade de sensibilizar os professores universitários a desenvolverem habilidades pedagógicas. Também foi abordada a necessidade de conhecimento das diferentes escolas pedagógicas e suas implicações, bem como a relevância do planejamento no âmbito educacional. Uma sugestão para superar esses entraves seria promover ações institucionais focadas na formação do docente.

Em seguida, após estudar a legislação educacional dos cursos de arquitetura e urbanismo, baseou-se nas Diretrizes Curriculares de 2010 para agrupar as áreas do saber em categorias. Essas categorias e seus respectivos conteúdos deram suporte ao desenvolvimento dos capítulos 4 e 5.

Por fim, verificou-se aspectos relacionados à aplicação de tecnologia no ensino e a importância da motivação e da curiosidade. Acredita-se que ferramentas tecnológicas podem ser utilizadas no ensino teórico de diferentes conteúdos do curso de arquitetura e urbanismo e não apenas no ensino do próprio *software*. Com isso, os docentes podem usufruir das potencialidades trazidas pelas tecnologias e aplicá-las de diversas formas no ensino motivando os alunos, que ficam interessados em explorar novas ferramentas.

O capítulo a seguir explora as tecnologias utilizadas na área de arquitetura e urbanismo para posteriormente ser realizada uma análise de como os recursos tecnológicos podem ser utilizados no ensino de diferentes conteúdos da área, nos capítulos 4 e 5.

TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TICs) EM ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo começa introduzindo a arquitetura dentro do contexto histórico das revoluções industriais, objetivando compreender como a arquitetura e a construção civil se comportaram frente às novas necessidades da sociedade, que foram surgindo com as evoluções tecnológicas. Em seguida, são apresentadas as Tecnologias de Informação e Comunicação que impactaram o campo da arquitetura e urbanismo no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais.

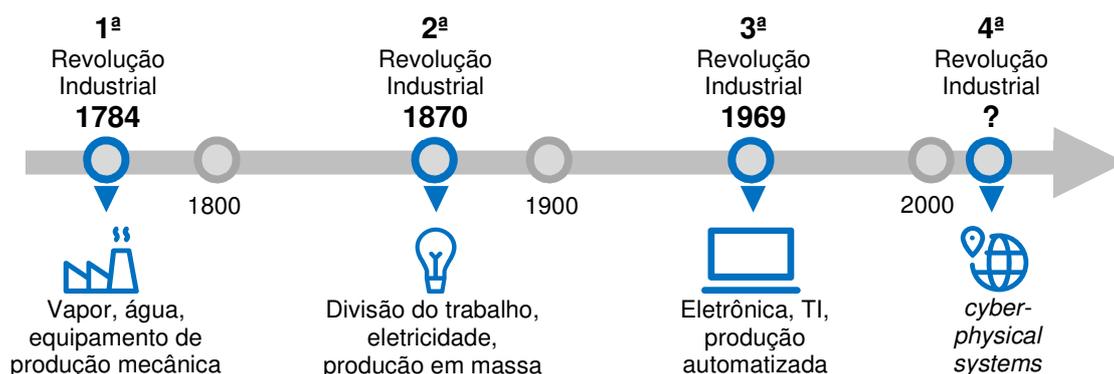
3.1 Breve histórico das revoluções industriais

A intensificação das tecnologias digitais traz consequências diversas no nível do cotidiano das pessoas, em todas as esferas, de maneira diferenciada, mas socialmente ampla. Na prática cotidiana da disseminação de informações, isso é perceptível de múltiplas formas, a ponto de se tornar difícil a tarefa de se desenvolver qualquer atividade que não esteja total ou parcialmente inserida nos novos aparatos tecnológicos de informação (COUTINHO; SILVEIRA Jr., 2007, p. 74).

A citação acima traduz o momento tecnológico vivido em 2017. Os maiores avanços tecnológicos começaram a ocorrer na 1ª Revolução Industrial e evoluíram até o atual mundo em rede e tecnológico da 4ª Revolução Industrial. As revoluções modificaram a forma de produção dos bens e causaram impactos na arquitetura, no urbanismo (CELANI; FRAJNDLICH, 2016), bem como na construção civil e na sociedade.

Com as revoluções industriais, as tecnologias entram nas moradias e alteram significativamente a construção civil. Dessa forma, o arquiteto precisa saber como incorporar em seu projeto as tecnologias para que as pessoas possam se valer daquela novidade, bem como necessita compreender as tecnologias construtivas utilizadas nos canteiros de obra. Assim, essa seção traz uma breve abordagem das transformações geradas na sociedade por cada revolução industrial e, também, trata o impacto que elas causaram na vida do ser humano, na construção civil e na vida do arquiteto. A Figura 6 apresenta um resumo das principais características das 4 revoluções.

Figura 6 – Resumo das Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de Nicol (2015)

1ª Revolução Industrial

A 1ª Revolução Industrial ou *Industry 1.0* começou na Inglaterra por volta de 1784, século XVIII, e durou até aproximadamente 1870, século XIX (NICOL, 2015) e representou uma transição da economia artesanal para a industrial (CARVALHO, 2010). Segundo Righi (2009, p. 56), esse período se caracterizou pela “substituição da força humana e de animais pela força das máquinas”. Adicionalmente, Celani e Frajndlich (2016) assinalaram que nessa época foi marcada pelo uso de água a vapor e pela ferrovia. Houveram novos avanços tecnológicos e a 1ª revolução Industrial cedeu lugar para as inovações da 2ª Revolução Industrial.

2ª Revolução Industrial

A 2ª Revolução Industrial ou *Industry 2.0* ocorreu por volta dos anos de 1870, século XIX, a 1968, século XX, (NICOL, 2015) e se caracterizou pela descoberta de novas fontes de energia, como a eletricidade e o petróleo, e pela divisão do trabalho que “levaram aos novos conceitos de produção em massa e economia em escala” (CELANI; FRAJNDLICH, 2016, p. 162, tradução nossa). Os mesmos autores (p. 162) citam que com o desdobramento da tecnologia, a arquitetura buscou “integrar o *design* de componentes produzidos em massa com utopias urbanas, levando ao conceito de casas produzidas em massa, buscando uma estética industrial”; contudo, mais tarde, após a Segunda Guerra Mundial, as casas produzidas em massa passaram a existir devido ao uso de elementos pré-moldados que foram usados na reconstrução das cidades europeias.

Com as descobertas realizadas ao longo da 2ª Guerra Mundial, houve o desenvolvimento da Tecnologia da Informação e, assim, a 2ª Revolução Industrial chegou ao fim e abriu espaço para a 3ª Revolução Industrial.

3ª Revolução Industrial

A 3ª Revolução Industrial, *Industry 3.0*, também chamada de Revolução do Computador ou Tecnológica (RIGHI; CELANI, 2007), começou por volta de 1969, século XX, e vai até início do século XXI, não tendo uma data precisa do seu fim (NICOL, 2015), pois o término da 3ª Revolução se confunde com o início da 4ª Revolução Industrial.

Segundo Mitchell e McCullough (1994 apud RIGHI, 2009), a 3ª revolução substituiu a força da mente por máquinas de processamento de informação. Ela se caracteriza pelo uso da eletrônica e da Tecnologia da Informação (TI) para automatizar a produção (SCHWAB, 2016) e as atividades que se desenvolveram nessa revolução foram a informática, microeletrônica, telecomunicações, optoeletrônica, computação e engenharia genética (CASTELLS, 1999 apud BRAZ, 2016). Braz (2016, p. 7) acrescenta que essa revolução também foi marcada pela invenção do computador na 2ª Guerra Mundial, da internet e do sistema *wireless* na década de 1990, integrando o mundo através de redes.

A criação do transistor, do circuito fechado e do chip de silício causaram uma aceleração nas invenções de novas tecnologias e produtos, como o *hardware*, o *software* e o computador, até que a velocidade de processamento e a capacidade dos computadores aumentaram resultando na redução de custos e de tamanho, tornando-se acessível à população (RIGHI; CELANI, 2007). Ou seja, o tamanho físico e a capacidade de processamento dos computadores são inversamente proporcionais, pois enquanto o primeiro foi reduzindo ao longo do tempo, o outro foi aumentando até chegar no armazenamento em nuvem (*cloud*). A computação em nuvem, *cloud computing*, trata-se da possibilidade de “utilizarmos, em qualquer lugar e independente de plataforma, as mais variadas aplicações por meio da internet com a mesma facilidade de tê-las instaladas em computadores locais” (ALECRIM, 2015, s.p.). Essa tecnologia está presente em vários setores, inclusive para uso privativo das pessoas, se tornando um caminho sem volta.

Como consequência a todas essas evoluções tecnológicas, a 3ª Revolução Industrial causou transformações não apenas na indústria, mas também na cidade, na sociedade e na construção civil, que podem ser observadas a seguir.

3ª Revolução Industrial - Impacto na vida do ser humano

A Revolução Tecnológica acarretou grandes transformações na sociedade em rede, conectada e globalizada, como chama Castells (1999 apud BRAZ, 2016), principalmente com o surgimento dos computadores domésticos na década de 70, seguido dos portáteis e da internet (RIGHI; CELANI, 2007). Com o barateamento dos computadores, a tecnologia tornou-se mais acessível à população que passou a ter

diferentes tipos de equipamentos em suas moradias, desde computadores e *laptops* até *tablets* e *smartphones*.

Ao mesmo tempo que o “computador delimitou a capacidade de processamento de informações de execução de tarefas pelo cérebro humano”, também a ampliou (TERZIDIS, 2006 apud RIGHI; CELANI, 2007, s.p.), uma vez que os dispositivos conectados à internet e a alta de velocidade de troca de informações estimulam as pessoas a desempenharem diferentes tarefas ao mesmo tempo.

Souza (2015) comenta que muitas profissões deixaram de existir por causa da globalização como é o caso do datilógrafo, da telegrafista, do motorneiro (condutor dos bondes), operador de mimeógrafo (equipamento que produzia cópias a partir de matriz perfurada), caneteiro (profissional que consertava canetas tinteiro), entre outros. Em contrapartida, surgiram novas funções tais como desenvolvedor de aplicativos, analista de mídias sociais, tecnologia da informação (TI), desenvolvedor de jogos, desenvolvedor de Web, engenheiro de *software* dentre outros (GUIA DE CARREIRA, s/d). Desse modo, conforme Souza (2015) cita, o profissional de hoje tem que ser multiplicador de conhecimento, conhecer diversos e novos parâmetros para poder administrar novos conceitos e funções diferenciadas.

Com as TICs, houveram mudanças em várias áreas como na saúde, na educação, nos serviços bancários, nas empresas, na indústria e no trânsito. Na saúde, a medicina avançou de tal forma que é possível diagnosticar doenças de forma mais clara e precisa, além da maior facilidade de comunicação entre os médicos. A automação de tarefas na área bancária cresceu com a disponibilidade de informação e com os caixas eletrônicos. O controle do tráfego de veículos é feito via satélite viabilizando o controle de velocidade pelos órgãos responsáveis (BERTAGNOLLI, 1997).

Em relação as empresas, Mattos (1978) apontou em sua pesquisa dez aspectos positivos e onze negativos sobre o impacto gerado pelo computador nas empresas. Apesar dessa publicação ter 39 anos, os aspectos apontados pelo autor continuam relevantes e dentre os impactos positivos se destacam: o aumento da capacidade da empresa de tratar suas próprias informações, rapidez na obtenção de informações, integração de subsistemas e maior controle sobre a organização. Já os pontos negativos que observamos hoje em dia são a submissão à máquina, poluição de informações e evasão de informações.

3ª Revolução Industrial - Impacto na construção civil

A popularização do computador, da internet e a globalização despertou a busca de produtividade, qualidade e redução de custos na construção (NASCIMENTO;

SANTOS, 2001). A introdução do computador nas empresas levantou uma questão ainda discutida hoje: tratamento do fluxo de informação entre os vários agentes do processo de projeto, fator crítico para o sucesso de um empreendimento. Isso influenciou o desenvolvimento de sistemas de gestão, controle de qualidade e ferramentas colaborativas como os extranets de projetos (NASCIMENTO; SANTOS, 2003, p. 70). Essas questões voltam a ser discutidas atualmente com a implementação da plataforma BIM⁵ no projeto e na construção.

Outro aspecto iniciado no período da 3ª Revolução Industrial foi a reciclagem de resíduos e adoção de sistema de gestão ambiental para resíduos sólidos gerados pela construção, que se consolidou com as preocupações sustentáveis de atenuar os impactos causados pelo setor, além de buscar a redução dos custos da construção (ÂNGELO, ZORDAN, JOHN, 2001). Com isso, a análise do ciclo de vida (ACV) também ganhou força na prevenção de poluição (CYBIS; SANTOS, 2000).

No Brasil, durante a década de 70, a construção civil foi marcada por um grande crescimento da área de avaliação e perícia de empreendimentos. A década seguinte caracteriza-se pelo forte desemprego e aumento da informalidade no setor. Contudo, após 1989, período pós ditadura militar, houve um processo de modernização da construção civil com aquisição de sistemas construtivos, tecnologia e materiais estrangeiros, surgimento de certificações ISO, conceitos de qualidade, industrialização e *lean construction* (construção enxuta). Com isso, os canteiros ficaram mais especializados, demandando “mão de obra qualificada e atualizada com os métodos racionais e tecnologias sustentáveis” (BLANCO, 2008, s.p.). Percebeu-se na década de 90 um aumento da competitividade, desenvolvimento logístico, desenvolvimento das comunicações e desenvolvimento sustentável. “Apesar das mudanças ocorridas nas últimas décadas, o setor ainda não conseguiu se igualar ao nível de eficiência, produtividade e qualidade de outros setores da indústria” (NASCIMENTO; SANTOS, 2003, p. 70).

Vale comentar que o acesso da população aos computadores, dispositivos móveis e a internet, resultou na necessidade de adaptação das construções residenciais e comerciais, principalmente com relação a carga de energia elétrica e a quantidade de tomadas. E isso interfere não só no projeto de arquitetura, mas também nas instalações da edificação.

⁵ BIM é a sigla de Building Information Modeling ou Modelagem da Informação da Construção, em português.

3ª Revolução Industrial - Impacto na vida do arquiteto

Com a 3ª Revolução Industrial, as questões levantadas em décadas anteriores agora são debatidas em escala global, contudo o compromisso com a sociedade, característica dos profissionais do século XX, foi sendo abandonado, uma vez que os arquitetos não oferecem soluções de moradia econômica e restringem-se a produções espetaculares e de orçamento elevado, ao invés de atenderem as necessidades da maioria da população. Por outro lado, a articulação dos processos de projeto, construção e gestão dos edifícios passaram a levar em conta aspectos sustentáveis, observando o desperdício de energia na produção e no funcionamento da construção, além da exigência da durabilidade que levou a reconsideração da tipologia, envelopes, atenção para a implantação, orientação e relação com recursos naturais. Ou seja, começou a existir uma consciência global da importância dos recursos naturais do planeta (COHEN, 2013).

O mesmo autor fala que surgiu um interesse pela arquitetura *high-tech* com uma proposta renovada entre nova arquitetura e nova tecnologia, que exalta a técnica e emprega materiais de tecnologia avançada. Os principais arquitetos desse momento são Renzo Piano, Richard Rogers, Norman Foster, Santiago Calatrava, entre outros. Contudo, o autor destaca que a arquitetura foi se transformando em monumental e ornamental, exibindo interesse pela sua escala, dimensão urbana e territorial, materialidade, pelo modo como se comunica e o rigor tectônico foi substituído pelo jogo de ornamentos de superfícies. Salgado (2004b, s.p.) expõe que “aliar a forma à função não mais atendia às expectativas daquela sociedade” e o arquiteto voltou a se questionar sobre seu papel na sociedade.

Segundo, Nascimento e Santos (2001, s.p.), a partir da década de 80, a informática contribuiu para automatizar tarefas específicas no processo de projeto, tornando as atividades mais rápidas, eficientes e aumentando o fluxo de informação a serem processados. E acrescenta que inicialmente as ferramentas utilizadas eram genéricas (planilhas eletrônicas, sistemas de banco de dados e editores de texto), mas depois usou-se “ferramentas especializadas no desenvolvimento de desenhos (CAD), na elaboração de orçamentos e no gerenciamento de projetos”. Em relação ao gerenciamento de projetos, Correa, Salgado e Santos (2011, p. 766) citam que a incorporação pela indústria da construção civil, principalmente escritórios de arquitetura, de ambientes colaborativos baseado na *Web* “cria a possibilidade de implantação de uma gestão participativa de projetos baseada na construção coletiva do conhecimento”.

Durante a década de 90, houve uma transição dos métodos tradicionais de projeto (prancheta, lapiseira, gabaritos, nanquim) para o uso de ferramentas computacionais (CARVALHO; SAVIGNON, 2012). Na arquitetura contemporânea, o

computador tornou-se presente no processo de representação de projeto e avançou como ferramenta de projeto, se tornando parte do processo criativo. Esse processo culminou no surgimento de simulações virtuais, *softwares* e outras mídias cada vez mais exigidas na área, como é o caso dos programas CAD⁶ que surgiram nos anos 60 (RIGHI; CELANI, 2007). Esses avanços possibilitaram que os arquitetos visualizassem o projeto, ainda em suas fases iniciais, em ambientes 3D virtuais, fazendo com que os meios digitais influenciassem a metodologia de projeto de muitos profissionais (RIGHI, 2009). A respeito desse último aspecto, Silva (1997, p. 117) expõe que

com a incorporação de meios eletrônicos, arquitetos vem trabalhando novos conceitos espaciais e composições formais ancestrais de modo contemporâneo, passando de elementos digitais diretamente inseridos nos edifícios, que possibilitam suas reconfigurações, ao uso interativo de imagens sintéticas que ampliam e criam espaços além dos corpos concretos dos edifícios.

A relação do computador com o ato de projetar, tanto no ensino de graduação como no campo profissional, é um assunto recorrente nos dias atuais e sobre isso, Righi (2009) aborda que deve haver integração e não competição entre os meios tradicionais e as ferramentas digitais, é o chamado método híbrido. Para Duarte (2016, p. 28, grifo nosso)

entre o final dos anos 1980 e o início dos anos 1990, com popularização dos computadores pessoais, surgiu o que ficaria conhecida como arquitetura eletrônica, digital ou virtual. No mais das vezes, o fascínio das novas formas de representação suplantou o resultado final. Nos escritórios e escolas de arquitetura, havia uma disputa entre aqueles que desprezavam o uso de computadores para a concepção e representação de projetos arquitetônicos, e aqueles que desprezam tais críticos, como se de uma geração ultrapassada. Ambos tinham um ponto em comum: estavam errados. Ambos estavam focados no meio, na técnica e na tecnologia. **Como se o lápis ou o computador trouxessem inerentes o caráter do projeto. Como se a técnica determinasse a ética.**

A discussão referente aos meios de representação e projeção é extensa e foge ao propósito dessa pesquisa. Ressalte-se que, tanto o lápis no passado, como o computador na atualidade, são ferramentas a serviço do profissional de arquitetura, e que a qualidade do projeto dependerá da formação desse profissional e não da ferramenta escolhidas para o desenvolvimento de projeto.

Outra questão desse período é a interatividade entre o homem e o computador que avançou do decorrer do tempo. Segundo Righi (2009, p. 75-76), o “uso de tecnologias interativas [...] auxilia na otimização de processos, diminuindo o tempo para a realização de tarefas, melhorando a produtividade e possibilitando atingir um nível de desenvolvimento”.

Como desdobramento da utilização da internet nos processos cotidianos da sociedade e com o aumento contínuo de sua velocidade (capacidade da troca de dados)

⁶ CAD é a sigla de *Computer Aided Design* ou desenho assistido por computador, em português.

em um espaço menor de tempo, começou a surgir um processo natural de aproximação do mundo físico com o mundo virtual. Ou seja, os processos realizados no mundo digital têm cada vez mais impacto no mundo físico e vice-versa. Com isso, o fim da 3ª Revolução Industrial se confunde com o início da 4ª Revolução Industrial, por uma ser o desdobramento da outra, como será visto a seguir.

4ª Revolução Industrial

Em 2018, estamos vivenciando a 4ª Revolução Industrial, segundo Schwab (2017). Contudo, seu surgimento difere das demais revoluções por ser difícil perceber quando houve o término da 3ª Revolução e início da nova revolução. Para Schwab (2017), existem três razões que demonstram que a 4ª Revolução está em andamento e não representa uma parte da 3ª Revolução Industrial: (1) velocidade – essa revolução está evoluindo em ritmo exponencial, ao invés de linear como as demais, isto é resultado do mundo interligado e da tecnologia cada vez mais capaz; (2) amplitude e profundidade - baseia-se na revolução digital e como as tecnologias estão mudando paradigmas de “como” e “o que” fazemos e, também, “quem” somos; (3) impacto nos sistemas - envolve transformações de sistemas em países, empresas, indústrias e na sociedade como um todo.

Os avanços tecnológicos da 4ª Revolução Industrial, *Industry 4.0*, abrangem inteligência artificial (AI), robótica, Internet de Coisas (IoT), veículos autônomos, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência de materiais, armazenamento de energia, computação quântica, entre outros (SCHWAB, 2017). Além dessas tecnologias, Ferracane (2015) também cita outras inovações como fabricação de aditivos, computação em nuvem e tecnologia de sensores que estão conduzindo processos industriais mais inteligentes, novos modelos de negócios e produtos personalizados.

Essa revolução baseia-se no conceito *cyber-physical systems* (sistema físico cibernético), que trata de uma interação profunda dos mundos real e virtual (FERRACANE, 2015), ou seja, uma fusão de tecnologias borrando os limites entre as esferas físicas, digitais e biológicas (SCHWAB, 2016).

Para a ascensão da 4ª Revolução Industrial, dois avanços tecnológicos são fundamentais: a Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*) e a fabricação de aditivos, segundo Ferracane (2015). E complementa dizendo que o primeiro se refere a objetos físicos (carros, geladeiras, semáforos, etc.) capazes de se identificarem e se comunicarem entre si através da internet. Já a fabricação de aditivos, conhecida como impressão 3D, fabricação digital ou prototipagem rápida, permite imprimir objetos físicos a partir de modelos virtuais, possibilitando que o indivíduo customize qualquer produto e participe do processo de fabricação.

A 4ª Revolução mudou a forma como nos comunicamos, trabalhamos, expressamos, informamos e nos divertimos, da mesma forma, estão sendo redefinidos os governos, instituições, sistemas de educação, saúde, transporte, entre outros (SCHWAB, 2017). Para o futuro, estima-se que os custos de transporte, comunicação e do comércio cairão, o que abrirá novos mercados e impulsionará o crescimento econômico; o mercado de trabalho demandará as extremidades de alta qualificação-alta remuneração e baixa qualificação-baixo salário, resultando no esvaziamento da categoria intermediária; surgirão novas maneiras de consumir bens e serviços mobilizada pelo comportamento do consumidor que acessa a internet; por fim, a tecnologia afetará a natureza da segurança nacional e internacional devido as informações estarem disponíveis na nuvem (SCHWAB, 2016).

Embora haja incerteza a respeito das transformações que serão provocadas pela 4ª Revolução Industrial, é possível observar alguns indícios do futuro cenário com relação ao impacto na vida das pessoas, na construção civil e na arquitetura e urbanismo, conforme está apontado abaixo.

4ª Revolução Industrial - Impacto na vida do ser humano

“A tecnologia definitivamente transformou nosso mundo para sempre” e em 2018 é difícil se imaginar sem internet, sem *smartphone*, não usar aplicativos de geolocalização (mapas), não mandar mensagens pelo celular, não ter conta em redes sociais e apenas ouvir música em CD ou LP (GUIA DA CARREIRA, s.d., s.p.). A tecnologia evoluiu de tal forma que, para Cardoso (2007 apud BRAZ, 2016, p. 8), ela “está ligada à vida cotidiana de maneira intrínseca e é inseparável”, de modo que tudo passa a ser feito no mundo digital desde transações até análise do trânsito por aplicativos, ou seja, tudo está conectado.

Mais de 30% da população global usa plataformas de mídia social para se conectar, aprender e compartilhar informações e a tecnologia tornou possível acessar remotamente produtos e serviços, que aumentam a eficiência de nossas vidas, como pedir um táxi, reservar um voo, comprar um produto e efetuar um pagamento. Como toda transformação é acompanhada de consequências, a 4ª revolução afetará nossa identidade, senso de privacidade, padrões de consumo, habilidades e relacionamentos, além disso a conexão constante pode nos privar de se envolver em conversas significativas no mundo real (SCHWAB, 2016).

Outras inovações que estão surgindo são carros sem motorista que utilizam sensores e *softwares* para se localizarem e reconhecer pessoas, objetos e outros carros. Também existem nas fábricas a comunicação máquina-máquina que permite ajustar

mudanças, prever falhas e se autoconfigurar sem assistência humana (FERRACANE, 2015).

4ª Revolução Industrial - Impacto na construção civil

Dentre as inovações já observadas na construção civil destacam-se a adoção de ferramentas de fabricação digital para a "impressão" de elementos construtivos ou mesmo da edificação inteira, o que elimina o desperdício de material no canteiro, aumenta a segurança do trabalhador, diminui o tempo de construção e o custo da obra. A China e o Estados Unidos utilizam essa tecnologia e a China consegue construir dez casas em apenas 24 horas usando a impressão 3D. Além disso, existem sensores vestíveis que são colocados, por exemplo, em um relógio de pulso para monitorar a temperatura corporal do trabalhador e evitar exaustão térmica; contrapiso autonivelante, material com alta fluidez que acelera em 50% a execução do piso por pavimento e diminui o estoque de agregados no canteiro; além de drones que permite o monitoramento do canteiro de obra em tempo real bem como fazer mapeamento em 3D (CONSTRUCT, 2016).

De acordo com Muller (2015), novas tecnologias estão surgindo e exemplos disso são a impressora de ruas desenvolvida por Tiger Stine (Figura 7A), que organiza os blocos em uma matriz e possui uma esteira que os posiciona no chão; o elevador multidirecional (Figura 7B) sem cabos movido a levitação magnética que está sendo elaborado pela ThyssenKrupp; asfalto inteligente que é permeável; tijolos inteligentes da Kite Bricks para construção de casas baseados em encaixes sem necessidade de cimento; e enxame de robôs construtores, projeto desenvolvido por pesquisadores de Harvard, EUA, inspirado em estruturas construídas por cupins e outros insetos.

Figura 7 – (A) Impressora de rua; (B) elevador multidirecional



Fonte: Muller (2015)

4ª Revolução Industrial - Impacto na vida do arquiteto

Igualmente, a influência da tecnologia sobre a arquitetura e urbanismo está criando novas funções no mercado de trabalho, conforme aponta lista criada pela revista *Archipreneur* publicada no Arcoweb (2015). Nessa publicação, entre as funções citadas estão o especialista em BIM, tecnólogo em projeção digital (profissional que lida com prototipagem rápida dentro dos escritórios), gerente de mídias sociais, profissional de visualização arquitetônica 3D (especialista em modelagem, iluminação, renderização ou pós-produção) e designer gráfico de animação.

Isto posto, constata-se que cada revolução mudou a forma das pessoas se relacionarem e enxergarem o mundo. Também é visível que a construção civil e a arquitetura acompanham a evolução da sociedade desde sua origem. Agora, analisando a trajetória das quatro revoluções industriais, percebe-se a existência de um ciclo de evolução, iniciado pela criação da máquina a vapor, que se repete a cada revolução industrial, conforme mostra a Figura 8. A máquina a vapor (nova tecnologia) permitiu o desenvolvimento da indústria, impulsionando os diversos setores da economia que, por sua vez, oferecem novos produtos e serviços à população que passa a criar novos hábitos, demandando novas tecnologias ao mercado, iniciando, assim, um novo ciclo que normalmente é caracterizado por nova revolução industrial.

Figura 8 – Ciclo das revoluções industriais.



Fonte: Autor

A cada ciclo, o mercado de trabalho também sofre alterações, demandando novas características aos profissionais, que, por sua vez, se atualizam. O mesmo ocorre no campo da arquitetura e urbanismo, onde os profissionais devem cada vez mais se preparar para adotar de forma eficiente as potencialidades que a tecnologia tem trazido, tanto no processo de projeto quanto no planejamento da construção.

3.2 TICs no cenário da 3ª e 4ª Revolução Industrial

A partir das inovações tecnológicas da 3ª e 4ª Revoluções Industriais surgiram Tecnologias de Informação e Comunicação que impactaram o campo da arquitetura e

urbanismo. Dessas tecnologias, BIM, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD) foram escolhidas como recorte a serem tratadas nessa pesquisa. As subseções a seguir apresentam essas TICs.

3.2.1 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

O BIM, *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção é apontada como uma das tecnologias que está transformando a construção civil. BIM é definido por Eastman et al. (2014, p. 461) como “ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas pela documentação digital e legível pelo computador de uma edificação, seu desempenho, seu planejamento, sua construção e, posteriormente, sua operação. Portanto, o termo BIM descreve uma atividade, e não um objeto”. Para esse autor, BIM é um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria relacionada à AEC, e **não se refere a um tipo de software**, mas uma atividade humana que envolve mudanças amplas no processo de construção. Eastman et al. (2014) acrescentam que a metodologia BIM não é a conversão do 2D para o 3D, mas um **processo de projeto baseado em um modelo 3D parametrizado que contém especificações dos componentes de todos os projetos envolvidos na edificação. O BIM gerencia e produz dados da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida**, permitindo uma melhor performance do edifício.

Para Birx (2006 apud GARBINI, 2013), BIM trata da terceira geração do CAD que tem como objetivo principal integrar informações geométricas (forma, posição, dimensões, etc.) com dados não geométricos (material, volume, custo, etc.) por meio de relacionamentos associativos e paramétricos (BIRX, 2006 apud GARBINI, 2013).

A plataforma BIM se refere não apenas aos *softwares* que permitem a modelagem paramétrica da informação, mas também a forma de trabalho e ao processo de projeto que estão por trás da adoção desses *softwares*.

Antes de compreender quais são as premissas da plataforma BIM é importante compreender o que é CAD. O CAD surgiu na década de 1960 e o termo é a abreviação de *Computer-Aided Design*, projeto auxiliado por computador. Os *softwares* CAD “permitem ao usuário criar e construir objetos a partir de figuras geométricas simples em duas dimensões e gerar imagens em três dimensões na tela do computador, que depois podem ser armazenados, manipulados e atualizados” (TURBAN et al., 2004 apud GARBINI, 2013, p. 48). Righi (2009) diz que o CAD modificou o método de projeto e transformou as formas de representação e expressão gráfica, além disso destaca a importância dos desenhos manuais no processo criativo, na flexibilidade e na liberdade

de concepção, apesar das vantagens oferecidas pelos programas como facilidade de correção, edição e precisão.

Para a geração atual, CAD é utilizado como abreviação do programa que domina o mercado (AutoCAD), assim como, para diferenciar de outros *softwares* CAD, como o SketchUp e Rhinoceros (KOS, 2016). Segundo o mesmo autor, o termo CAD tende a desaparecer, porque foi necessário em um período que precisava diferenciar quando se utilizava uma ferramenta digital e quando usava uma ferramenta tradicional (lápiz e papel) e, também, tende ao desuso pelo fato dos conhecimentos de desenho digital serem introduzidos desde o início do curso de graduação, deixando de ser necessário usar essa expressão.

Ainda que os programas CAD tenham surgido da década de 1960, seu uso só expandiu no Brasil com a popularização do computador na década seguinte (1970), mas foi na década de 80 que teve maior influência no campo da arquitetura e urbanismo quando o custo do computador se tornou mais acessível. Nessa década surgiu a primeira versão do AutoCAD em 1982. Embora os primeiros programas reproduzissem em 2D as ferramentas de desenho tradicional, as principais vantagens verificadas com o CAD eram a precisão do desenho e a facilidade de repetição (KOS, 2016).

Garbini (2013, p. 50) expressa que existem diferentes tipos de CAD: CAD geométrico, CAD 3D e CAD-BIM. O primeiro, muito utilizado na construção civil, representa informações através de elementos geométricos primitivos (linha, ponto e arco) e representa uma prancheta melhorada, não trazendo melhorias de comunicação entre os agentes do processo de projeto. O CAD 3D, também chamado de maquete eletrônica, trata-se da conversão em 3D de processos iniciados em 2D em outros *softwares* CAD geométricos. Similarmente ao CAD geométrico, o CAD 3D resultou em pouca melhoria de qualidade de informação gerada. Já o CAD-BIM refere-se a “modelagem da informação orientada ao objeto” e corresponde à terceira geração do CAD.

É importante dizer que Righi (2009, p. 68) destaca uma referência de 1986 (Kennedy, 1986) cujo autor expressa que “a Inteligência Artificial começava a ser cogitada para ser incorporadas aos programas CAD” e “produziria soluções de projeto automaticamente a partir de informações fornecidas previamente pelos projetistas”. Com os avanços tecnológicos da 4ª Revolução Industrial, é possível imaginar que isso se torne efetivo em breve e a tecnologia de projeto que talvez venha a se desenvolver nesse aspecto seja a plataforma BIM.

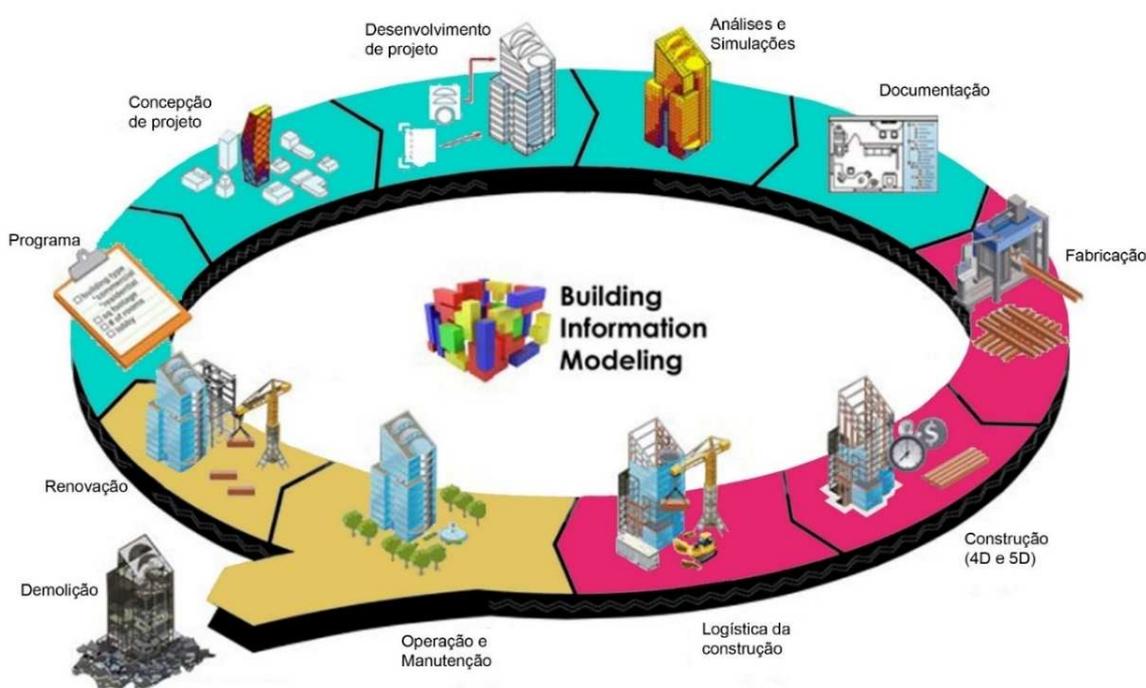
Segundo Santos e Barison (2011), o uso da Modelagem da Informação da Construção agrega valor ao projeto levando-se em conta os seguintes aspectos: (1) a detecção de incompatibilidades e soluções projetuais deixam de ser feita na obra e

passa para a fase de projeto, com isso a comunicação entre projetistas, fornecedores e construtora é antecipada; (2) quantitativos, simulações e análises são formuladas de maneiras muito rápidas e mecânicas; (3) ocorre aumento do desempenho dos projetistas, redução de prazo e potencialização do trabalho da mão de obra no canteiro; (4) as incompatibilidades de projeto e os desperdícios diminuem durante a construção contribuindo, dessa forma, para a preservação dos recursos naturais.

Apesar da plataforma BIM estar sendo amplamente discutida atualmente, os conceitos, abordagens e metodologia do BIM datam de 1975 quando foi inventada pelo Prof. Charles Eastman do Instituto de Tecnologia de Geórgia, EUA. Contudo o primeiro uso registrado do termo *Building Modeling* no sentido usado atualmente foi apenas em 1986 por Robert Aish (EASTMAN et al., 2014).

Conforme dito anteriormente, o BIM envolve informação que percorrem todas as etapas do ciclo de vida da edificação compreendendo a fase de projeto (verde), fase de construção (rosa) e fase de operação e manutenção, demolição e renovação do empreendimento (amarelo) (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016), conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – BIM ao longo do ciclo de vida da edificação



Fonte: Basto e Lordsleem Junior (2016)

A fase de projeto é composta pelo planejamento, concepção, desenvolvimento de projeto, análises e simulações e documentação (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016). Na etapa de **planejamento e concepção**, pode ser feito um estudo de massa

com informações agregadas para calcular a viabilidade da construção e a partir dessas informações é possível extrair resultados de custo, tempo, área, impacto da construção, entre outros. Um dos *softwares* utilizados para estudo de viabilidade é o DProfiler. A partir da análise das informações do estudo de viabilidade pode-se alterar o sistema construtivo escolhido para outro que atenda a viabilidade, por exemplo, antes de começar a desenvolver o projeto.

Ruschel (2014, p. 8) argumenta que ferramentas BIM são mais voltadas “para a fase de desenvolvimento de projeto do que para concepção”, apesar de já existirem ferramentas como o Dynamo para Revit e Vasari que trabalham na fase de concepção de projeto e avaliação de desempenho. A mesma autora (p. 10) complementa que “para implementar no ensino de arquitetura os modelos de concepção digital [...] mediados por BIM requer-se incluir o ensino da programação visual para modelagem parametrizada, conhecimento de interoperabilidade e de tradução de modelos”.

Para **desenvolvimento do projeto**, os *softwares* mais utilizados no Brasil na área de arquitetura e urbanismo são Revit, Archicad e Vectorworks. Esses programas possuem ferramentas de construção do modelo, que constroem virtualmente o empreendimento, além de possibilitar o levantamento de quantitativos e estimativa de custos e fazer a redução de erros de projeto usando detecção de interferências (CBIC, 2016a).

A plataforma BIM permite realizar **análises e simulações** “do comportamento e do desempenho de edifícios e instalações, ou de suas partes e sistemas componentes” como “análises estruturais, análises energéticas (simulação do consumo de energia), estudo térmicos e termodinâmicos, estudos de ventilação natural, estudos de níveis de emissão de CO₂, estudos luminotécnicos e estudos de insolação e sombreamento”. Também pode ser feito a análise do modelo a partir de regras de verificação com o programa Solibri (Quadro 4). Outra possibilidade é análise de construtibilidade, que estuda e define a sequência de montagem, a partir da combinação da construção virtual, detecção de interferências e planejamento 4D (CBIC, 2016a, p.33).

Apesar do cenário promissor, Brígite e Ruchel (2016, p. 24) apontam que

o desempenho em projeto ainda é avaliado através de processos analíticos e simulações físicas, com pouca interação por intermédio de ferramentas computacionais, apesar de haver conhecimento sobre elas nessa etapa. Esse cenário pode advir da barreira resultante da baixa interoperabilidade entre as ferramentas de modelagem e as análises disponíveis. Outro impedimento ao uso de ferramentas computacionais de análise de desempenho, apesar do conhecimento, é a complexidade inerente dessas ferramentas, que encontra como contrapartida o desejo por simplicidade por parte dos projetistas.

Com isso, as mesmas autoras pesquisaram métodos de realizar diversas simulações computacionais (acústico, térmico, luminoso, consumo de água,

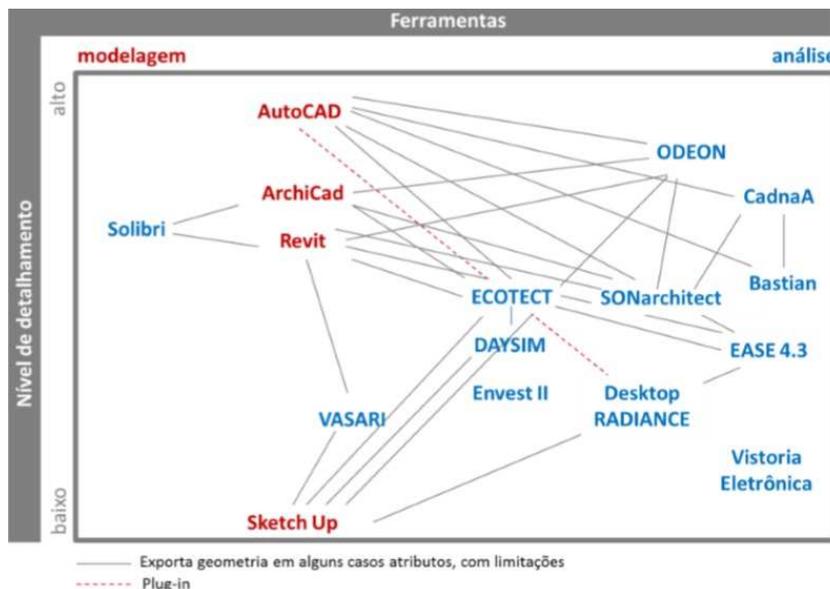
acessibilidade e consumo de material) a partir de um único modelo, visando reduzir perda de informação durante a fase de concepção de projeto e, assim, promovendo uma otimização do uso de BIM em projetos. Um dos resultados desse estudo é a caracterização de ferramentas de simulação e a elaboração de um macro fluxo da comunicação entre essas ferramentas que podem ser observadas nas Figura 10 e Figura 11, sucessivamente.

Figura 10 - Caracterização de ferramentas de simulação

	Desempenho Acústico	Desempenho Térmico	Desempenho Luminoso	Acessibilidade	Consumo de Água	Consumo de Materiais
Escopo	Transmissão de ruído; Emissão de ruído; Isolamento Acústico.	Nível de radiação solar; Sombras e ventos.	Desempenho Luminoso; Radiação Solar; Sombras; Luminância e Iluminância.	Check lists ; Análise de conflitos ; Conformidade com código de obras	?	Estimativa dos impactos ambientais no ciclo de vida do edifício.
Ferramentas	ECOTECT 2011; Bastian; CadnaA; Ease 4.3; Odeon; SONarchitect ISO;	ECOTECT 2011; Project Vasari	ECOTECT 2011; Daysim; Desktop Radiance.	Vistoria Elettronica; Solibri Model Checker.	?	Envest II.
Objetivos	Controle de ruído aéreo ou impacto, interno ou externo.	Controle de temperatura nos ambientes internos no inverno e no verão.	Garantia do nível adequado de iluminância (lux), sem ganho solar.	Garantia do direito universal de ir e vir.	Garantia de conservação e uso racional de água.	Redução da quantidade de material consumido para construção.

Fonte: Brigitte (2013, p. 101)

Figura 11 - Macro fluxo da comunicação entre essas ferramentas



Fonte: Brigitte (2013, p. 107)

Ainda sobre os *softwares* de simulação, Delbin (2006, p. 108-109) aponta dez características que as ferramentas de simulação de desempenho térmico devem atender para serem utilizadas com finalidade educacional. São elas:

(1) analisar desempenho térmico; (2) ter interface simplificada; (3) oferecer resultado preferencialmente gráfico; (4) fazer intercâmbio de arquivos com programas CAD; (5) exportar o modelo para programas mais refinados sem necessidade de retrabalho; (6) ter um banco de dados de materiais construtivos e o mesmo também deverá ser editável para inserção de dados relativos aos materiais disponíveis no mercado brasileiro; (7) ter um banco de dados de arquivos climáticos, converterem dados climáticos de outros formatos para utilização no programa; (8) oferecer tutoriais e listas de discussão sobre o programa; (9) fazer um programa validado, por metodologia reconhecida, ou permitir fácil exportação dos dados para um programa mais confiável; e (10) oferecer boa relação custo benefício, tanto para aquisição, como para treinamento de usuários.

A **documentação** - plantas, vistas, cortes, fachadas, detalhes, tabelas, entre outros - é extraída automaticamente do modelo, ou seja, é o resultado da modelagem do projeto reduzindo a quantidade de tempo, erros relacionados a geração de desenho e o controle de mudanças no projeto (EASTMAN et al., 2014).

A fase de construção compreende a fabricação, construção e logística da construção (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016). Sobre a primeira, com a plataforma BIM é possível viabilizar e intensificar a industrialização (CBIC, 2016a, p.37). Outra alternativa é a fabricação digital que se refere “às tecnologias CNC (máquinas de controle numérico) sugerindo a transferência de dados de um modelo digital para uma máquina visando à fabricação direta de elementos construtivos a serem enviados para a obra, formas para concretagem ou ainda protótipos em escala real” (PUPO, 2016). Os protótipos podem ser usados como forma de comunicação para facilitar a compreensão de certas soluções projetuais permitindo transmitir a complexidade construtiva da edificação, além de permitir uma avaliação antecipada do produto e eliminar possíveis falhas (SAVIGNON; SALGADO; LASSANCE, 2012). Do mesmo modo, existem impressoras de concreto que imprimem peças de tamanho real, inclusive casas (SANTOS, 2014b), contudo necessitam de controle tecnológico preciso para atingir a textura e resistência correto.

Antes do início da construção, a plataforma BIM viabiliza o planejamento 4D e 5D. O **planejamento 4D** é composto pelo modelo 3D adicionado a linha do tempo compondo o cronograma físico da obra. As informações do modelo e, conseqüentemente, o quantitativo de material está vinculado com o cronograma produzido pelos *softwares* Navisworks e Synchro 4D de planejamento 4D, desse modo, quando uma alteração é feita no modelo, o cronograma é atualizado, permitindo melhor controle da obra. Além disso, o planejamento 4D proporciona estudar todas as etapas e atividades previstas na execução da obra e, por meio da construção virtual, a

plataforma BIM permite ensaiar a obra no computador modelando, assim, o processo de construir (CBIC, 2016a).

Já o **planejamento 5D** é a união do modelo 4D com o custo formando cronograma físico-financeiro. Os *softwares* mais utilizados são Vico e Navisworks e, da mesma forma que o planejamento 4D, ocorre a atualização automática das informações do cronograma físico-financeiro quando o modelo está vinculado ao programa. Esses dois planejamentos auxiliam o acompanhamento e a verificação das atividades da construção no canteiro de obra (EASTMAN et al., 2014).

Em relação a **logística da construção**, a plataforma BIM propicia a simulação e planejamento do canteiro de obra como a entrada e saída de veículos e de materiais na obra. Ademais, pode-se utilizar o modelo BIM para “rastrear e controlar componente de uma edificação”, ou seja, “as informações podem ser utilizadas para a gestão ativa de todo o processo de pré-fabricação, armazenamento, montagem, controle de qualidade e liberação de medições para pagamento”. Outra opção é a verificação de níveis e locações da obra “a partir de informações previamente referenciadas num modelo BIM, utilizando equipamentos do tipo ‘estação total” (CBIC, 2016a, p. 46-50).

Após a entrega da obra, as informações do modelo servem como base de dados para a fase de **operação e manutenção** ou gestão de *facilities* a partir do formato COBie. Além disso, as ferramentas BIM podem verificar as condições de acesso para futuras manutenções do edifício com a adoção da premissa de projeto chamada *Human Factor Engineering* (HFE), que leva em consideração a escala e medidas do ser humano para acessar áreas de instalações em condição ideal para realizar tarefas com condições mínimas de segurança (CBIC, 2016a).

Outra aplicação de BIM associada a edificações existentes é o *Heritage / Historic Building Information Modeling*, conhecido pela sigla HBIM. Canuto (2017, p. 58) cita que HBIM, segundo Murphy, McGovern e Pavia (2007), refere-se à um “modelo BIM desenvolvido, a partir de dados históricos, sistema de captura a *laser* em nuvem de pontos e dados de fotogrametria digital”. A mesma autora (p. 58) acrescenta que “os trabalhos sobre HBIM ilustram como bibliotecas de objetos paramétricos interativos podem ser desenvolvidas, para isso são consultados diferentes tipos de manuais arquitetônicos para obter informações sobre construção geométrica”. Desse modo, o BIM pode ser explorado na preservação do patrimônio conforme apontam diversas pesquisas (CANUTO; MOURA; SALGADO, 2016; CANUTO, 2017; CUNHA, 2016; BARAZZETTI et al., 2015). E, da mesma forma, também existem oportunidades de utilização dessa TIC no ensino de “história” que serão apresentadas no capítulo 5.

Em relação a **demolição**, é possível fazer simulação para prevenção de desastres como a simulação de terremoto em uma ponte e simulação de implosão do

edifício. Já na fase de **renovação**, com o levantamento de nuvens de pontos gerados por escaneamento a laser é possível fazer o levantamento de construções existentes, como prédios históricos, (BARAZZETTI et al., 2015) e, também, projetos de modificações ou ampliações (CBIC, 2016a). Outra possibilidade é analisar o comportamento de um edifício existente a partir da modificação de uso do espaço (BARAZZETTI et al., 2015) e usar técnica de captura do ambiente físico para “estudo de desvios ou para realização de simulações” (CBIC, 2016a, p. 39).

Vale destacar que o ciclo de vida da edificação apresentado na Figura 9 é didático e não determina que o fluxo de trabalho seja linear, pelo contrário, o fluxo não é linear. Pois ao trabalhar com a plataforma BIM, é possível desenvolver o projeto ao mesmo tempo que ocorre a análise de desempenho, a geração de documentação e a verificação do cronograma 4D e 5D. Ou seja, qualquer uma das fases pode estar sendo pensada durante o processo de projeto.

2.2.1.1 Interoperabilidade no desenvolvimento de projetos

Um dos conceitos importantes para se compreender o funcionamento do BIM é a interoperabilidade, que se refere a “necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o trabalho em questão”, “baseia-se tradicionalmente em intercâmbio de formatos de arquivos” (EASTMAN et al., 2014, p. 65). Nesse sentido, o conceito de BIM “pressupõe a existência de um conjunto de ferramentas integradas e complementares, capazes de realizar diversos tipos de operação sobre o modelo único da edificação” (FREIRE; TAHARA; AMORIM, 2012, p. 3414). Com isso, a interoperabilidade é necessária para permitir a troca de informações entre os projetistas.

A troca de informações entre *softwares* pode ser feita de duas formas: pela extensão proprietária ou pelo *open* BIM. A extensão proprietária ocorre quando um fabricante tem a propriedade de vários *softwares* e eles conversam através de uma extensão. Por exemplo, os *softwares* BIM da Autodesk abrem e exportam a extensão “.rvt” do Revit, e o mesmo ocorre com outros fornecedores que tentam fazer com que o usuário utilize os programas do mesmo fabricante para não ter perda de informação. Já o *open* BIM possui uma proposta de utilizar a extensão “.ifc” entre todos os *softwares* BIM, independente do fabricante. Isso permite o usuário utilizar as ferramentas que melhor se adaptam ao seu processo de projeto ou que julgue mais eficiente para determinada atividade.

Para garantir a interoperabilidade entre os *softwares*, principalmente com o uso do “.ifc”, a BuildingSMART faz a certificação de *softwares* BIM. A BuildingSMART foi

fundada em 1995 e é a autoridade mundial de criação e adoção de normas internacionais abertas e é uma organização neutra, aberta e internacional sem fins lucrativos que se destina a apoiar a adoção mais ampla de BIM, além de atender as demandas do ambiente construído no mundo digital (BUILDINGSMART, 2016a). De acordo com o site dessa autoridade, existem 206 *softwares* certificados divididos em diversas categorias como arquitetura, estrutura e gerenciamento da construção até o início de 2018 (BUILDINGSMART, 2016b).

Visto isto, abaixo são listados os principais *softwares* BIM para o Brasil e suas funções. Convém destacar que os *softwares* costumam ser atualizados com frequência e a cada ano surgem novos produtos. Portanto, o cenário apresentado abaixo refere-se a alguns dos principais *softwares* disponíveis no Brasil no primeiro quarto do ano de 2016 divulgado pela CBIC (2016b) e outros programas que estão sendo utilizados no mercado e foram pesquisados nos sites dos fabricantes.

Quadro 4 – Principais *softwares* BIM no Brasil

Legenda das atividades:

PRÉ-OBRA	1	Desenvolvimento de modelos e visualização	OBRA	8	Fabricação	PÓS-OBRA	13	Operação, gestão de ativos, gestão de manutenção
	2	Coordenação e verificação de códigos		9	Layout e verificação			
	3	Simulação		10	Execução no campo			
	4	Quantificação		11	Administração da construção			
	5	Orçamento		12	Comissionamento e entrega			
	6	Planejamento 4D						
	7	Detalhamento						

	Software	Atividades	Fase da edificação	Principais funções
Autodesk base em desktop	Revit	1, 2, 3, 4, 6, 7	Pré-obra	Desenvolve modelos de arquitetura, estrutura e sistemas prediais; faz levantamento de quantitativos, geração de tabelas, legendas, renderização e passeios interativos.
	Navisworks	1, 2, 3, 4, 12, 13	Pré-obra, Obra, Pós-obra	Visualização e revisão do modelo, checagem de interferências, simulação 4D da construção e do canteiro de obras, extrai quantitativos, simulação 5D e integração com BIM 360 Glue.
	Robot	3	Pré-obra	Análise e simulação de estruturas grandes e complexas.
	Simulation CFD	3	Pré-obra	Ferramentas de dinâmica de fluidos e de simulação térmica que ajuda a prever o desempenho do produto, otimizar projetos e validar o comportamento do produto antes da fabricação.
	Dynamo	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Pré-obra, Obra	Cria modelos através da programação virtual, explora conceitos paramétricos nos projetos, automatiza tarefas e produz análises preliminares.
Autodesk base em nuvem	A360	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13	Pré-obra, Obra, Pós-obra	Armazena, visualiza e compartilha arquivos 2D e 3D em qualquer lugar e em qualquer dispositivo.
	Formit 360 Pro	1, 3	Pré-obra	Permite esboçar, colaborar, analisar e revisar os conceitos de projeto em uma fase inicial.
	Green Building Studio	3	Pré-obra	Baseado em nuvem, faz a análise global energética e de consumo de água e busca neutralizar a emissão de carbono.

Continua

Quadro 4 – Principais *softwares* BIM no Brasil (continuação)

	Software	Atividades	Fase da edificação	Principais funções
Nemetschek	Archicad	1, 4, 5, 7	Pré-obra	Desenvolve modelos de arquitetura, estrutura e sistemas prediais; faz levantamento de quantitativos, geração de tabelas, legendas, renderização e passeios interativos.
	Vectorworks	1, 4, 5, 7	Pré-obra	Desenvolve modelos de arquitetura e documentação.
	Solibri	2, 4	Pré-obra	Validação, análise e extração de informações de modelos BIM.
	AllPlan	1, 4, 7	Pré-obra	Modelagem 3D e detalhamento de estruturas de concreto
	BIMx	7	Pré-obra	Aplicativo para tablet e smartphone de visualização de projetos BIM em 2D e 3D.
	Bluebeam Revu	7	Pré-obra	Plataforma de colaboração que conecta parceiros de projetos em todo o mundo em tempo real no mesmo conjunto de documentos centralizados.
Trimble	Tekla Structures	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 11, 12	Pré-obra, Obra	Modelagem 3D, detalhamento, gerenciamento, fabricação e montagem de estruturas.
	MEP Designer for Sketchup	1, 2, 3, 4, 9	Pré-obra Obra	Cria modelos 3D e customiza componentes de elétrica.
	Sketchup	1, 9	Pré-obra, Obra	Modelagem 3D utilizada na fase de estudo conceitual, preliminar e volumétrico de projetos.
	Vico Software	2, 3, 4, 9	Pré-obra Obra	Gerenciamento, planejamento e controle de custos da obra, <i>software</i> 5D.
	Tekla BIMsight	2, 9	Pré-obra Obra	Combina diferentes modelos em um modelo único, verifique interferências, compartilhe informações usando o mesmo ambiente BIM e é gratuito.
	Trimble Connect	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12	Pré-obra, Obra	<i>Software</i> em nuvem que compartilha informações e projetos de diversas áreas e feitos em diversos <i>softwares</i> .
Bentley	AECOSim Building Designer	1, 2	Pré-obra	Modelagem, documentação, visualização e análises de projeto arquitetônico, estruturais e MEP.
Outros	DProfiler	1	Pré-obra	Quando um modelo 3D é criado, o <i>software</i> fornece feedback instantâneo sobre dados como custo, energia, ciclo de vida, corte e preenchimento e programação. Os usuários podem avaliar trade-off entre disciplinas para encontrar a melhor solução global.
	TQS	4, 7	Pré-obra	Modelagem, análise estrutural, dimensionamento, detalhamento, desenho e documentação de estruturas reticulares em concreto armado, protendido, alvenaria estrutural e estruturas pré-moldadas.
	Synchro	6	Pré-obra	Planejamento BIM 4D, sequenciamento e interdependência de atividades, estudo de folgas e cálculo do caminho crítico, análise de riscos, associação de recursos para as atividades, animações comparação de planejamento X executado.
	Archibus	13	Pós-obra	Gestão imobiliária e gerenciamento de instalações e ativos, gestão de espaço, gerenciamento de mudanças, de portfólio imobiliário, de orçamentos e de projetos, gestão de riscos, manutenção predial, gerenciamento de ativos e gestão de serviços de suporte.

Fonte: Autor com base em CBIC (2016b), Autodesk (2017), Trimble (2017), Bluebeam (2018) e Bentley (2017)

Adicionalmente, Leal (2017) indica características dos cinco *softwares* de análise de desempenho energético e simulação certificados pela BuildingSMART, que são IDA

ICE, RIUSKA, Simergy, OpenStudio e IES-VE, e podem ser acrescentados ao quadro acima.

Pelo quadro apresentado, observa-se que existe uma grande quantidade de programas desenvolvidos para que a construção virtual do empreendimento atinja à todas as fases do ciclo de vida da edificação. Cabe frisar que a plataforma BIM não se refere a um tipo de *software* e sim a um novo processo de trabalho baseado em um modelo 3D parametrizado que contém informações geométricas e não geométricas da construção. E essas informações são inseridas e resgatadas ao longo do ciclo de vida da edificação.

O processo BIM tem como “premissa a colaboração contínua e concomitante de todas as disciplinas no desenvolvimento do projeto”. Os projetistas de encontram no início do processo de projeto, diferente do que ocorre no CAD, o que faz com que a compatibilização ocorra ao longo do processo. As trocas de informação serão muito mais frequentes e a relação entre projetistas fica mais próxima, mais intensa. O que é muito positivo para o projeto, porém exigindo mais transparência e comprometimento de todos os profissionais envolvidos (ASBEA, 2015).

O trabalho colaborativo é importante para a implementação da plataforma BIM e sobre isso, Checcucci e Amorim (2013, p. 215) falam que

a colaboração entre os membros da equipe que lidam com a edificação é fundamental para a modelagem BIM e sem ela dificilmente poderá ser desenvolvido um modelo que possa ser útil nas diversas fases do seu ciclo de vida. A colaboração é entendida como uma prática de duas ou mais pessoas trabalhando juntas e uma estrutura para a produção, compartilhamento e contestação do conhecimento. Martin et al. (2007, p. 222) chamam atenção que o termo colaboração normalmente é erroneamente utilizado como sinônimo de coordenação (um processo de organização de conjuntos de informações em um todo coeso), cooperação (uma atitude sobre relacionamentos), ou comunicação (um mecanismo para troca de conhecimento ou informação).

Eastman et al. (2014, p. 66) citam que “[...] arquitetura e construção são atividades colaborativas e as ferramentas que as apoiam também o são”. Lockley (2011 apud BARISON; SANTOS, 2011) confirma falando que BIM deve ser entendido como um processo que suporta o trabalho em colaboração. A Modelagem da Informação da Construção requer um projeto colaborativo e essa é uma das maiores contribuições dessa plataforma.

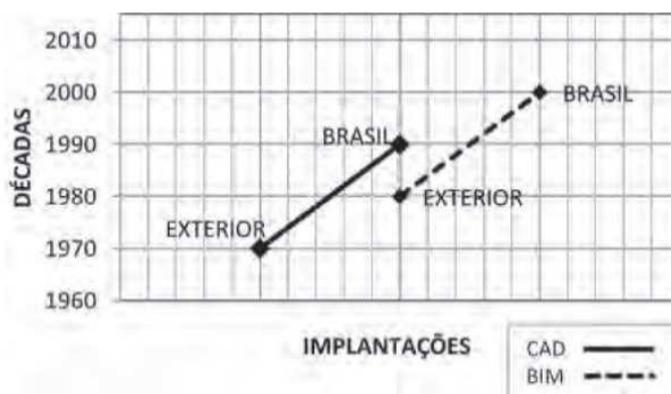
2.2.1.2 Adoção do BIM no Brasil

Em relação à adoção de BIM no cenário brasileiro, Castro et al. (2011, s.p.) afirmam que “nos últimos anos, o número de empresas e profissionais que têm investido no conhecimento e na implementação desta nova tecnologia vem crescendo,

principalmente entre escritórios de arquitetura e construtoras”. Assim, surge a questão do que é necessário para colocar em prática a plataforma BIM e, de acordo com o mesmo autor, a implantação da metodologia começa com uma profunda mudança cultural. Arquitetos e engenheiros precisam repensar o processo de concepção e execução do projeto contemplando todo seu ciclo de vida, adicionalmente, é fundamental incluir a participação de clientes e estimular a integração entre projeto de arquitetura e de engenharia.

O processo de inserção do BIM está lento tal qual aconteceu no passado em relação ao CAD (Figura 12). Em uma comparação do Brasil com o exterior, “enquanto os países desenvolvidos começaram a implementar a cultura do CAD na década de 1970, no Brasil, salvo raras exceções, ela só teve início nos anos de 1990, tanto no que se refere à prática da arquitetura quanto ao seu ensino (com a portaria 1770 do MEC, de 1994)” (CASTRO et al., 2011, s.p.). Conforme ocorreu com o CAD, o Brasil está atrasado na implementação do BIM devido à falta de conhecimento da plataforma e de suas vantagens pela maior parte dos profissionais.

Figura 12 - Início das implementações CAD e BIM no Brasil e no exterior



Fonte: Menezes (2011)

Paralelamente, após 2008 houve um aumento significativo de publicações acadêmicas brasileiras (teses, dissertações e artigos) e publicações técnicas, em revistas, sobre o BIM (KASSEM; AMORIM, 2015). Observe os Gráfico 1 e 2. Da mesma forma, Machado, Ruschel, Scheer (2016) apontam um aumento de publicações em anais de evento brasileiros a partir de 2007 e um crescimento considerável de publicações em periódicos eletrônicos a partir de 2013, apesar de surgir publicações sobre BIM em periódicos a partir de 2005. Contudo, Kassem e Amorim (2015, p. 152) indicam que “o ensino de BIM na educação superior ainda é limitado” e “a pesquisa BIM é considerada muito ativa”.

Gráfico 1 - Teses, dissertações e artigos sobre temática BIM

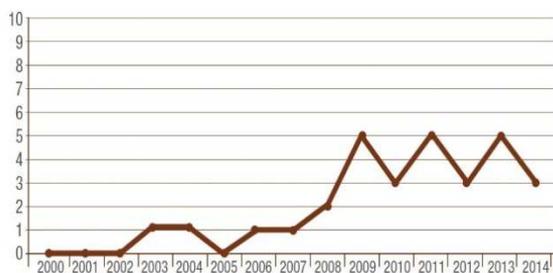
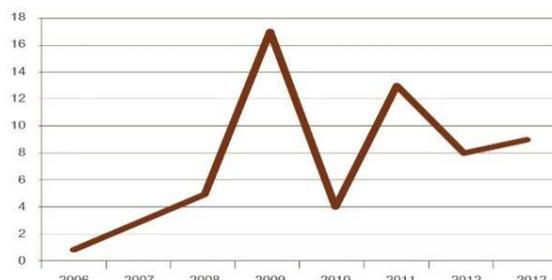


Gráfico 2 - Publicações técnicas na temática BIM



Fonte: Adaptado de Kassem e Amorim (2015, p.24-25)

O BIM tem potencial para ser implementado ao longo de todo o curso e não apenas em disciplinas específicas (RUSCHEL; ANDRADE; MORAIS, 2013; SANTOS; BARISON, 2011; BARISON; SANTOS, 2011; CHECCUCCI; AMORIM, 2014), porque ele não é uma ferramenta e sim um modo de trabalho (EASTMAN et al., 2014). Isto posto, a plataforma passa a ser visto como “um meio pelo qual as diferentes disciplinas do projeto podem se comunicar”, ou seja, a modelagem da informação da construção estabelece uma conexão entre todas as áreas do currículo (MOLINA; JUNIOR, 2015, s.p.).

Por ser uma nova abordagem de ensino, as experiências didáticas de inserção do BIM são relativamente novas (BARISON; SANTOS, 2011), com isso cada universidade está utilizando um método, que melhor se adapta aos seus princípios de aprendizagem e aos recursos disponíveis. As instituições acadêmicas estão adotando basicamente dois tipos de estratégias: ensinar uma ou duas disciplinas específicas sobre o tema, sendo uma matéria no início do curso e outra no final, ou utilizar o BIM em várias disciplinas existentes como recurso didático para ensinar outros conteúdos ao longo do currículo (CHECCUCCI; AMORIM, 2014; BARISON; SANTOS, 2011). A primeira forma de ensino representa, dentre outros fatores, aumento da carga horária do curso e tratamento introdutório do BIM, uma vez que ensinar duas matérias durante uma formação de quatro ou cinco anos significa uma abordagem superficial. A segunda forma de inserção será desenvolvida durante a formação do aluno, que fará conexão do BIM com diferentes assuntos por toda a grade curricular.

Já essa dissertação almeja apresentar alternativas para que as TICs se encaixem no dia a dia da sala de aula e não se torne um assunto a parte. Visto isso, as seções a seguir tratarão de outras TICs que podem ajudar a alcançar os objetivos da pesquisa.

3.2.2 Realidade Aumentada (RA)

Outra tecnologia que possui um vasto campo a ser explorado é a Realidade Aumentada (RA). Segundo Cupers Schmid (2016), RA é a sobreposição de imagens ou informações virtuais no mundo real por meio de um dispositivo com câmera, por exemplo, um celular. Kirner e Tori (2004 apud BRAGA et al., 2012, p. 139) argumentam que

a Realidade Virtual e a Realidade Virtual e Aumentada são tecnologias que vem ganhando uma grande visibilidade nos últimos anos, devido ao aumento significativo na capacidade de processamento dos microcomputadores, pelo barateamento dos equipamentos exigidos para manipulação desta tecnologia e por oferecerem um ambiente extremamente interativo, facilitando assim a relação do homem com a máquina.

A interação no ambiente de Realidade Aumentada (RA), se dá “em um ambiente real com a adição de dados virtuais, gerando uma visão composta em tempo real. A composição é uma combinação de uma cena real vista pelo usuário e uma cena virtual gerada por um sistema computacional” (CUPERSCHMID, 2016, p. 168). A mesma autora cita que a área de pesquisa que mais cresce em RA é a que envolve a utilização de dispositivos móveis devido ao surgimento dos *smartphones* e *tablets*.

Alguns dos *softwares* para desenvolvimento de RA são Processing, AMIRE, APRIL, ARStudio, ARTag, ARTHUR, ARTHoolkit, BuildAR, CATOMIRE, DART, D’Fusion, DWARF, FLARToolKit, NyARToolkit, FlarManager, I4D, jARToolkit, Phidget Toolkit, Unifeye SDK, Tinmith, Metaio Creator 6, Junaio e SACRA. Alguns deles são distribuídos livremente e possuem bibliotecas gratuitas na internet (ISHIDA et al., 2015; CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011; MOREIRA, RUSCHEL, 2015). O formato de arquivo que é produzido por esses programas é o VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), um arquivo em texto capaz de criar malhas poligonais (objetos) com cor, transparência, brilho e textura (ISHIDA et al., 2015).

Uma das maneiras de visualizar a RA criada é por meio do computador com *webcam* ou por um aplicativo instalado no *tablet* ou *smartphone*. Com relação a este último, Cupers Schmid e Freitas (2013) traçaram características entre alguns aplicativos de RA disponíveis para *download*, entre os aplicativos citados estão: Layar, Junaio, Wikitude, AR Media e Augment.

Embora tenha sido estudada há mais de 40 anos, apenas recentemente as aplicações de RA estão sendo verificadas e essa tecnologia conecta “computação gráfica, interfaces com os usuários, fatores humanos, computação móvel, visualização da informação e o projeto de sensores e artefatos para visualização” (FJELD, 2004 apud CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011). A proposta dessa TIC, segundo Azuma

(2011 apud ISHIDA et al., 2015, s.p.), é que as “informações adicionadas pelos objetos virtuais ajudem no trabalho real dos usuários”.

Existem duas vertentes sobre o método de calcular onde o objeto virtual será adicionado, uma é por meio de marcadores, como *QR Codes*, e outra é por meio de GPS e sensores de orientação, normalmente usados em dispositivos móveis, como o *smartphone* (CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011).

RA possui aplicações em diversas áreas como auxiliar uma cirurgia com a projeção de imagens internas do paciente, simuladores militares, criação de produtos, auxílio na manutenção de um objeto e diversão (ISHIDA et al., 2015), como é o caso do aplicativo Pokémon GO. Sobre a utilização na construção civil, Assis, Brochardt e Andrade (2016) exemplificam um dos usos da RA como a utilização de um *QR Code* para visualizar instalações dentro de paredes e lajes de uma construção.

Na arquitetura, Amim (2007) fala que RA pode ajudar na “concepção das formas arquitetônicas, na simulação e análise de questões energética das edificações, na fabricação de componentes estruturais ou na própria construção, no canteiro de obras”. Para Aguiar (2012 apud MOREIRA; RUSCHEL, 2015) uma das aplicações de RA na arquitetura é a possibilidade de “visualização e comercialização do produto final gerado”, além de visualizar elementos construtivos, sinalizar ambientes e inserir informações nas áreas de AEC (MOREIRA; RUSCHEL, 2015).

A realidade aumentada pode ser usada para estimular a colaboração a partir da interação de usuários com um edifício virtual que está ligado a um objeto físico, possibilitando a escolha da melhor implantação; dessa forma, a RA estimula a discussão com apoio de uma visualização, além de facilitar o entendimento do projeto ou objeto mostrado (CUPERSCHMID; RUSCHEL; MARTINS, 2011). Nessa linha de raciocínio, um experimento realizado por Moreira e Ruschel (2015) demonstra a possibilidade de visualização de soluções projetuais em arquitetura por meio da RA em dispositivos móveis e em projetor multimídia, sendo a opção do projetor a que possibilita maior interação dos participantes na tomada de decisão. Esse tipo de visualização tanto pode ser usado para a prática profissional como para o meio acadêmico.

Contudo, Hölh (2009 apud MOREIRA; RUSCHEL, 2015) aponta que a RA em arquitetura lida, principalmente, com cinco problemas:

- (1) usabilidade sem habilidades de programação;
- (2) processamento em tempo real de grandes quantidades de dados;
- (3) sistemas de rastreamento satisfatórios para visualização in loco;
- (4) aceitação do uso de *Head Mounted Displays*⁷ pelos usuários;
- (5) sombras em tempo real e oclusão do ambiente.

⁷ Head Mounted Displays ou “videocapacete é um dispositivo de saída de dados que consiste em duas telas [...] e também funciona como um dispositivo de entrada de dados quando possui sensores que captam o movimento e posição do usuário” (STANGE, 2012, p. 39).

Apesar dos problemas, diversos autores compartilham as oportunidades trazidas com essa tecnologia. Um estudo realizado por Ishida et al. (2015, s.p.) buscou utilizar “as potencialidades da realidade aumentada com os recursos oferecidos pelos conceitos BIM”, para isso, os autores criaram um modelo BIM de habitação unifamiliar com informações de pisos, paredes, portas, janelas, pilares e telhados. Em seguida, fizeram a conversão para o formato VRML de duas maneiras: (a) conversão do arquivo em IFC, importação do IFC no *software* ‘Nemetschek IfcViewer’ e conversão para VRML; e (b) exportação do arquivo original para 3D Studio e conversão em VRML. Na opção (a) houve perda total das texturas inseridas no *software* BIM e no (b) apenas as texturas e elementos geométricos foram preservados. Como conclusão, os autores destacam que há poucas bibliotecas de RA, tanto de código aberto como de código fechado, observaram praticidade para compreender e visualizar o projeto, porém existe pouca flexibilidade e qualidade de exibição. E acrescentam que no ensino, RA “despertará paixão pelo projeto por trabalhar a ludicidade do mundo real no campo do virtual”.

Em relação ao ensino, Braga et al. (2012, p. 139) destacam que apesar de existir esforços para aplicar Realidade Virtual Aumentada no ensino, a maioria das aplicações “tendem a serem meramente versões virtuais de materiais reais, sem a preocupação de utilizar o potencial educacional da ferramenta na aprendizagem ou mesmo em como estes materiais serão integrados ao ambiente educacional”. E acrescenta que “há um desafio em produzir materiais instrucionais, que permitam aos professores explorarem as potencialidades dos ferramentais disponíveis e assim fazerem um bom uso dessa tecnologia no processo de ensino e aprendizagem”. Nesse sentido, essa pesquisa visa mostrar aos professores as possibilidades oferecidas pelas TICs nas diversas áreas do saber de arquitetura e urbanismo.

3.2.3 Realidade Virtual (RV)

A Realidade Virtual (RV) é uma Tecnologia de Informação e Comunicação que vem ganhando destaque. De acordo com Cuperschmid (2016) e Paraizo (2016), RV trata da imersão no mundo completamente virtual através de óculos, capacete, luvas de dados, entre outros (CUPERSCHMID, 2016; PARAIZO, 2016). Aukstakaluis e Blatner (1992 apud AMIM, 2007) dizem que existem três pontos chave na definição de RV: “um ambiente computacional, interativo, tridimensional, onde a pessoa está imersa”. Para definir Realidade Virtual, Paraizo (2016, p. 170) usa a definição presente no *Oxford Advanced Learner's Dictionary*: “imagens criadas por computador que aparenta rodear a pessoa que as vê e parecem quase reais” e acrescenta que RV é, em essência, uma experiência imersiva.

Há controvérsias em relação ao surgimento da realidade virtual. Grilo et al. (2001) e Weiss (1996 apud REBELO, 1999) acreditam que o termo realidade virtual foi utilizado pela primeira vez em 1989 por Jaron Lanier quando desenvolveu a Luva de RV (*Data Glove*) em conjunto com Thomas Zimmermann. Contudo, Luz (1997 apud REBELO, 1999) considera que RV surgiu em 1965 com a publicação do artigo ‘*The Ultimate Display*’ de Ivan E. Sutherland quando criou o capacete de RV.

Segundo Grilo et al. (2001, s.p.), a RV pode ser imersiva ou não-imersiva. A primeira refere-se à integração do usuário com o ambiente virtual possibilitando experimentação total do ambiente virtual inclusive realizar teste com calor, frio, toque e deslocamento. Já a segunda é utilizada em “jogos e na manipulação de maquetes eletrônicas via internet, têm como vantagem o baixo custo do equipamento e a facilidade de acesso em qualquer tipo de computador”.

Para alguns autores (LUZ, 1997; WEISS, 1996 apud REBELO, 1999) a experiência imersiva apenas é válida se provocar estímulos alusivos à interação, imaginação e imersão, e se esses estímulos atingirem as características apontadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estímulos requeridos ao experienciar aplicações de RV.

Interação	Imaginação	Imersão
Proporciona uma interação completa com o ambiente, com os objetos e com outras pessoas. Exemplo: Abrir uma porta ou saudar uma pessoa dentro de um ambiente tridimensional.	Os sentidos são estimulados a tal ponto que a aplicação parece ser real. Exemplo: sentir que está realmente pilotando um avião ou passeando por uma igreja antiga, mesmo através de um monitor de computador.	A pessoa sente-se como parte integrante do ambiente digital proposta para a interação. Exemplo: Perceber que ao virar a cabeça a imagem que aparece no display do capacete de RV acompanha o usuário permitindo uma visão 360° do ambiente modelado.

Fonte: Rebelo (1999, p. 25)

Entre os equipamentos utilizados no desenvolvimento de aplicativos de RV estão o *mouse*, teclado, luvas, *joysticks*, capacetes de vários tipos, *CAVE*, óculos estereoscópico, monitores, *sketchpad* e dispositivo háptico ou sinestésico (REBELO, 1999). De acordo com Cruz-Neira (1997 apud FREITAS; RUSCHEL, 2010, p. 128), esses equipamentos são agrupados nas seguintes categorias: “equipamentos visuais, sistemas de rastreamento, dispositivos de entrada, sistemas de som, dispositivos hápticos, hardware de computação e gráficos”. Para Grilo et al. (2011, s.p.), os equipamentos mínimos para o uso de realidade virtual são compostos por

(1) computador potente (PC ou *workstation*); (2) dispositivos visuais, inicialmente incorporados em capacetes (*Head Mounted Displays*) ou em telas planas, múltiplas ou dispostas em ângulos; (3) Mecanismo de reconhecimento táctil e tecnologias de luvas; (4) dispositivos auditivos, inicialmente incorporados em capacetes.

O ambiente tridimensional observado em aplicativos de RV pode ser desenvolvido em programas 3D normalmente utilizados em arquitetura como SketchUp, Blender, 3DSmax, Archicad e Revit. E, depois, esse modelo tridimensional pode ser transferido para programas utilizados na criação de *games*, como o Unity 3D. Assim, o uso de RV na arquitetura se torna mais acessível (CANUTO; MOURA; SALGADO, 2017).

Uma das primeiras aplicações de RV foi feita pelo governo americano ao criar simuladores de voo para treinar soldados da força aérea (REBELO, 1999). O mesmo autor acrescenta que a partir disso outras pesquisas propuseram aplicativos de simulação para áreas distintas, inclusive treinamento de funcionários em situações virtuais semelhantes à vida real.

Canuto, Moura e Salgado (2017) comentam que as experiências imersivas estão se popularizando graças ao surgimento de plataformas com custo acessível como os óculos de realidade virtual conectados a computadores ou ao celular. Um exemplo é o Google *Cardboard*, o Samsung GearVR e o Oculus Rift.

Um dos pontos-chave da RV é o realismo proporcionado pela tridimensionalidade, representação da arquitetura em escala e simulação de texturas e iluminação. Somando o realismo à possibilidade de realizar percursos interativos, o usuário compreende melhor o projeto se comparado às representações 2D ou modelos 3D, além de facilitar a visualização e análise diferentes alternativas durante a concepção (GRILO et al., 2001).

Pesquisas apontam que a realidade virtual pode ser utilizada como ferramenta de ensino e treinamento (STANGE, 2012; GRILO, 2001; REBELO, 1999). Pensando da mesma forma, Gómez e Trefftz (2011 apud STANGE, 2012) relatam que essa tecnologia é uma ferramenta poderosa no processo de ensino-aprendizagem e seu poder ser ampliado com o uso de RV imersiva como a *CAVE* ou *cab simulator*.

Sobre isso, Pantelidis (1998 apud STANGE, 2012, p. 59-60) sugere situações propícias para utilizar a RV em treinamento ou educação, como quando existe “inconveniência de ensinar ou treinar no mundo real”, quando “um modelo irá treinar ou ensinar com a mesma eficiência quando se dispõe de uma aprendizagem no mundo real”, quando a interatividade “pode ser considerada motivadora tanto quanto a interação com algo real ou ainda promover maior motivação quando se usam técnicas de *games*, por exemplo”, e para “vencer algumas barreiras como introspecção para que se consiga atingir a aprendizagem em grupo”.

Essa TIC também traz possibilidades para o ensino de arquitetura e urbanismo, para a “análise de projeto, projetos colaborativos, análise estrutural, desenho urbano”, entre outros (GRILO et al., 2001, s.p.). Os autores complementam que também é uma ferramenta para a percepção, avaliação e apreciação de projetos arquitetônicos antes

de sua construção física. Os mesmos autores argumentam que o fato de ambientes virtuais serem semelhantes à ambientes reais propicia a “exploração, a descoberta e a observação do problema ou objeto de estudo” e, com isso, contribui para a construção de “modelos mentais de conhecimento”. Assim, Pantelidis (1995 apud GRILLO et al., 2001) aponta vantagens ao utilizar ambientes virtuais no ensino como:

(a) amplia a motivação do estudante; (b) possibilita ilustrar mais precisamente algumas características, processos, etc.; (c) permite a observação do objeto ou ambiente virtual de pequenas ou grandes distâncias; (d) fornece a oportunidade para melhor compreensão do objeto de estudo; (e) permite que o aluno proceda através da experiência no seu próprio ritmo; (f) não restringe o prosseguimento das experiências ao período de aula regular; (g) oferece a possibilidade de aprendizado de novas tecnologias; (h) requer interação, ou seja, encoraja a participação ativa em vez de passiva.

Visto isso, a próxima seção trata sobre outras Tecnologia de Informação e Comunicação, que são a prototipagem rápida e fabricação digital.

3.2.4 Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD)

Outras TICs que estão sendo exploradas nos campos da arquitetura e construção civil são a Prototipagem Rápida (PR) e a Fabricação Digital (FD). Pupo (2016, p. 98) comenta que “a introdução de tecnologias digitais para a produção de modelos, maquetes, protótipos ou elementos construtivos na área de pesquisa, ensino e prática da arquitetura é, hoje, uma realidade”. Da mesma forma, Celani et al. (2017, p. 30) relatam que fabricação digital “passou por um forte processo de popularização nos últimos 20 anos”. Nesse sentido, a PR e FD estão sendo muito discutidas em diversas áreas, inclusive na arquitetura e urbanismo, e muitas vezes são ditas como sinônimos. Apesar de serem similares, possuem aplicações diferentes.

A fabricação digital se refere a transferência de dados de um modelo digital para uma máquina de controle numérico (CNC) para produção de elementos em escala real, como fôrmas para concretagem. Adicionalmente, com o desenvolvimento da informática, a produção em série do fordismo migrou para a personalização em série possibilitada pela fabricação digital, que permite resultados variáveis e não repetitivos, uma vez que os projetos são criados e produzidos digitalmente, processo chamado *file-to-factory* (do arquivo para a fábrica) (PUPO, 2016).

Ao falar de fabricação digital é importante citar o *Fabrication Laboratory* (Fab Lab), “laboratório de fabricação digital afiliado a uma rede mundial originada no Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT/EUA)”, que se é compreendido como o modo de expressão do ‘movimento *maker*’, que transfere para os usuários o processo de fabricação transmitindo o pensamento de “faça você mesmo” (QUINTELLA et al., s.d.). Celani et al. (2017) destacam que o barateamento dos equipamentos de FD incentivou

as escolas de arquitetura, inclusive escolas brasileiras, a comprarem máquinas de controle numérico.

Já a prototipagem rápida, segundo Moeskopf e Feenstra (2008 apud ANDRADE, 2016, p. 164), corresponde a uma “tecnologia utilizada para produzir objetos físicos pela adição de camadas, a partir de dados computacionais em 3D, oriundos de um sistema CAD (*Computer-Aided Design*)”. Savignon, Salgado e Lassance (2012) citam que além do processo de adição, os protótipos também podem ser obtidos pela planificação - peças bidimensionais são cortadas a laser e montadas - e pela impressão 3D por escultura ou subtrativo, quando uma peça maciça é desbastada até chegar a forma final.

Além dos sistemas CAD específicos, Pupo (2009, p. 193) menciona que existem três maneiras de gerar modelos 3D para serem utilizados em máquinas CNC, são eles:

- (1) por métodos paramétricos em que *scripts* são executados por programação em diversas linguagens e podem ser manipuladas em sistemas CAD tradicionais;
- (2) por meio de digitalização, fotos ou desenhos de edifícios podem ser transformados em modelos digitais por meio de uso de programas específicos, como é o caso do PhotoModeller;
- (3) ainda na digitalização, as maquetes modeladas ou executadas a mão (ou mesmo as que já foram prototipadas) podem ser digitalizadas tridimensionalmente para a obtenção de modelos geométricos digitais.

Com relação a escolha entre prototipagem rápida ou outro protótipo arquitetônico digital ou analógico, a seleção dependerá do perfil do projeto, da intenção do projetista, do custo, precisão, tempo e qualidade do modelo. Quando comparado os dois métodos, a PR “permite maior precisão, repetitividade, maior nível de detalhe e redução significativa de tempo para produção dos modelos” (ANDRADE, 2016).

Em relação as vantagens da PR, Celani e Bertho (2007, s.p.) citam a “alta precisão, inclusive em detalhamentos de pequena escala, produção ilimitada de peças iguais em formato e tamanho, produção de curvas planas [...], diminuição do trabalho com acabamento e economia de tempo em relação às produções manuais”. Já Shimomura, Frota e Celani (2010, s.p.) acrescentam a essa lista a “possibilidade de produção de formas livres e complexas” sem necessidade do usuário “possuir qualquer tipo de habilidade manual”⁸, bem como rapidez na execução quando comparado ao método tradicional.

Andrade (2016) comenta que para eFundu (s.d.), o processo de produção de protótipos, independentemente dos materiais e tecnologias utilizadas, segue quatro etapas: (a) produção do modelo digital (CAD); (b) conversão do formato CAD para STL;

⁸ Vale alertar para os riscos decorrentes de edifícios com tal diversidade e “riqueza” de formas que, na medida em que são disseminadas no mundo real, podem contribuir para a produção de cidades e ambientes desconexos.

(c) o arquivo STL fatia o modelo até a conclusão; (d) os suportes do modelo são removidos e a superfície é limpa.

Na arquitetura, a PR pode ser usada em diferentes estágios do processo de projeto. Na etapa conceitual, Andrade (2016) cita que pode ser usada para compreender a relação do edifício com o entorno, testar um detalhe construtivo, visualizar com mais clareza as intenções projetuais e, também, permite o estudo de formas complexas geradas pelo computador. Ainda nessa etapa, Savignon, Salgado e Lassance (2012) falam da possibilidade de criação de propostas inovadoras respaldadas por testes e simulações no protótipo que garantem a construtibilidade do produto final. Apesar das vantagens observadas pelo uso da PR desde o início do processo de projeto, que é muito utilizado em escritórios de arquitetura americanos e europeus, a prototipagem raramente aparece nos escritórios brasileiros no início do processo e quando surge são utilizadas apenas para apresentações finais (SAVIGNON; SALGADO; LASSANCE, 2012; CELANI; BERTHO, 2007).

Os mesmos autores tratam a prototipagem como um recurso de substituição de vários documentos impressos e de apoio ao processo de projeto, uma vez que transmitem a complexidade construtiva das soluções de projeto e propicia uma experiência tridimensional concreta, rica em informações. Para isso, eles argumentam que os elementos construtivos são tridimensionais, enquanto as informações projetuais, mesmo que em 3D, muitas vezes não transmitem exatamente o detalhe pretendido. Complementarmente, citam que a relevância do protótipo está em proporcionar uma maneira de aproximar o arquiteto do produto final e, desse modo, permitir aprofundamento no estudo das formas e controle dos problemas de execução, resultando em maior confiabilidade nas soluções adotadas. Assim, para esses autores, a incorporação de PR nas etapas do processo de projeto é uma “das mais poderosas ferramentas para melhoria da qualidade da edificação.

Em relação ao meio acadêmico, a inserção de laboratório de fabricação digital (Fab Lab) nas universidades, como é o caso de algumas no Brasil, pode agregar múltiplos campos do conhecimento (arquitetura, design, engenharia, medicina, odontologia, biologia, música, etc.) que envolvam qualquer tipo de produto físico a ser criado, materializado e testado, estimulando a colaboração, fluidez de informação e criação entre diversas disciplinas. Os docentes podem desenvolver trabalhos práticos utilizando as metodologias *learning by doing* (aprender fazendo) e *peer learning* (aprendizagem entre pares) e as trocas de conhecimentos são transmitidos por *workshops* ou troca horizontal de experiências (QUINTELLA et al., s.d.).

Pupo (2009) destaca que a partir do ano de 2000 houve emprego de técnicas de prototipagem rápida nos cursos de arquitetura e urbanismo, proporcionando um

aumento de arquitetos recém-formados a explorarem novos usos para essa TIC. A mesma autora acrescenta que a tecnologia BIM é perfeitamente adaptável “à integração com as tecnologias de prototipagem e fabricação digitais como apoio ao ensino de arquitetura.”

3.3 Considerações sobre o capítulo

Esse capítulo tratou da evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação ao longo da história da humanidade e sua repercussão na vida cotidiana e na construção civil. Foi visto que a cada novo ciclo da revolução industrial, o mercado de trabalho se adequa às novas tecnologias ocasionando a demanda de novas funções como é o caso do especialista em BIM e do tecnólogo em projeção digital. Percebe-se que a presença da tecnologia é irreversível e que com o desenvolvimento, principalmente, da internet a informação está em todas as partes, seja na rua, em casa ou na escola.

As TICs - BIM, RA, RV, PR e FD - que atuam no campo da arquitetura e urbanismo podem trabalhar de forma independente ou em conjunto. E a associação das cinco TICs podem trazer contribuições para o ensino de arquitetura e urbanismo, além de antecipar possíveis futuras experiências profissionais.

Neste contexto, ao destacar algumas tecnologias emergentes cada vez mais presentes na vida profissional e acadêmica, fica evidente a necessidade de orientação dos docentes na escolha dos recursos tecnológicos, a fim de auxiliá-los na exploração das potencialidades proporcionadas pelas tecnologias no ensino de arquitetura. Com isso, o capítulo seguinte tratará de possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais nos diversos campos do saber da arquitetura e urbanismo.

USO DE TICS NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo inicia apresentando o método de seleção de textos da Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Em seguida, as seções 4.1 a 4.5 utilizam como base as categorias das áreas do saber das Diretrizes Curriculares, classificadas na subseção 2.2.2, e as TICs apontadas no capítulo 3 para buscar a relação das tecnologias digitais com o ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Desse modo, de acordo com o universo pesquisado, são apresentadas alternativas já exploradas por professores em sala de aula na implementação de BIM, RA, RV, PR e FD no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

As seções 4.1 a 4.5 equivalem às categorias dos conteúdos de arquitetura e urbanismo definidas na seção 2.2.2: “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”. Vale salientar que o ensino dos conteúdos de cada categoria pode estar presente em qualquer disciplina do curso e não exclusivamente na disciplina que se destina ao ensino deste assunto. Por exemplo, serão apresentadas experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “conforto ambiental” não só em disciplinas de conforto ambiental, mas também em disciplinas de projeto ou qualquer outra disciplina que aborde sobre os conteúdos de “conforto”, mesmo que não seja o foco da disciplina. Ou seja, o estudo por experiências didáticas não se limita a uma disciplina específica, uma vez que busca os conteúdos/assuntos tratados em uma determinada categoria.

Para cada experiência de uso de TIC apresentada ao longo do texto (seções 4.1 a 4.5) foi atribuída um modo de utilizar a tecnologia, que foi chamado nessa pesquisa de ‘**recurso tecnológico**’. Certos recursos tecnológicos apresentam diferentes maneiras de serem explorados, que foram denominados nesse estudo como ‘**alternativas**’. Então, por exemplo, a TIC RA pode ser utilizada de diferentes formas no ensino de arquitetura e urbanismo por meio dos seguintes recursos tecnológicos: relacionar o real com o virtual, manipulação do modelo virtual, entre outros. Uma das ‘alternativas’ do recurso ‘relacionar o real com o virtual’ trata-se de utilizar esse recurso por meio de marcador, GPS ou sem marcador.

O método de seleção de artigos adotado nesse capítulo tem como base a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) que, segundo Kitchenham (2007, p. vi, tradução nossa), consiste em

uma forma de estudo secundário que utiliza uma metodologia bem definida para identificar, analisar e interpretar todas as evidências disponíveis relacionadas a uma questão de pesquisa específica de forma imparcial e (até certo ponto) replicável.

Copper (2007 apud Cooper, Hedges e Valentine (2009) apresenta um modelo de seis estágios para conduzir uma pesquisa sistemática. Essa dissertação seguiu esses estágios, que são: (a) definir o problema; (b) coletar a evidência de pesquisa; (c) identificar e aplicar critérios para extrair informações que ajudem a responder à questão da pesquisa; (d) analisar a evidência de estudos individuais; (e) interpretar a evidência cumulativa; (f) apresentar os métodos e resultados da síntese aos leitores.

Com base nisso, a RSL utiliza como recorte amostral artigos de periódicos, congressos, teses e dissertações publicados nos últimos dez anos (2007 a 2017), que relatam sobre experiências didáticas que incorporaram TICs (BIM, RA, RV, PR e FD) no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

As fontes de busca utilizadas foram aquelas que tradicionalmente trazem resultados de pesquisa na área explorada e que são de relevância para o campo da Arquitetura e Urbanismo. Desse modo, as fontes consultadas foram:

- Periódicos nacionais: (1) Ambiente Construído;
(2) PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção;
(3) Gestão & Tecnologia de Projetos;
- (4) Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do IBICT;
- Congressos nacionais: (5) TIC - 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017;
(6) GRAPHICA - 2007, 2009, 2011, 2013, 2015 e 2017;
(7) ENTAC - 2008, 2010, 2012, 2014, 2016;
(8) SBQP - 2009, 2011, 2013, 2015 e 2017;
- Congressos e periódicos internacionais: (9) CumInCAD.

O CumInCAD foi escolhido por ser uma base de dados que reuni publicações de diferentes partes do mundo sobre desenho arquitetônico assistido por computador. O CumInCAD abrange eventos anuais como ACADIA (*Association for Computer Aided Design in Architecture*), CAADRIA (*Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*), eCAADe (*Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe*), SIGraDi (*Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*), ASCAAD (*Arab Society for Computer-Aided Architectural Design*), CAAD futures (*Computer-Aided Architectural Design Futures*) e outros.

As palavras-chave utilizadas na busca foram termos genéricos das TICs pesquisadas nessa dissertação nos idiomas português e inglês, são elas: BIM, *Building Information Modeling*, realidade aumentada, *augmented reality*, realidade virtual, *virtual reality*, prototipagem rápida, *rapid prototyping*, fabricação digital, *digital manufacturing*.

As palavras utilizadas na base de dados CumInCAD não puderam ser tão genéricas devido ao elevado número de artigos encontrados nos resultados de busca.

Sendo assim, primeiramente foram utilizadas as palavras-chave descritas acima. Para aquelas palavras que tiveram um número elevado de publicações optou-se por acrescentar aspas e, caso o resultado continuasse elevado, a palavra 'arquitetura' foi adicionada a busca com símbolo booleano '+'. Dessa forma, os termos utilizados na busca do CumInCAD foram: +BIM +arquitetura; +"Building information Modeling" +architecture; realidade aumentada; +"augmented reality" +architecture; "realidade virtual"; +"virtual reality" +architecture; prototipagem rápida; +"rapid prototyping" +architecture; "fabricação digital"; +"digital manufacturing" +architecture.

Foram definidos os seguintes critérios de inclusão de dados:

- (a) trabalhos publicados no período de 2007 a 2017;
- (b) necessário tratar de uma experiência didática de uma ou mais TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo;
- (c) a publicação deve abordar sobre ensino e pelo menos uma das TICs (BIM, RA, RV, PR ou FD);
- (d) as publicações devem estar disponíveis para consulta em meio eletrônico;
- (e) publicações que o professor usa TIC em sala de aula;
- (f) publicações que o aluno usa TIC em sala de aula desde que o propósito do uso da ferramenta seja para ensinar conteúdos de arquitetura e não ensinar a manipular um *software*.

Com relação ao critério de exclusão, foram desconsiderados os textos que usam TIC para experimentação da tecnologia e não como um meio de ensino de um conteúdo de arquitetura.

Levando em consideração o critério (d) de inclusão, os artigos do congresso GRAPHICA 2009 não estavam disponíveis para consulta, uma vez que o site do evento estava fora do ar. Seis artigos do TIC 2011 e dois artigos do TIC 2013 que possuíam títulos relacionados à dissertação também não estavam disponíveis em meio eletrônico. Os anais do congresso TIC 2017, chamado SBTIC + SIBRAGEC 2017, que ocorreu entre os dias 6 e 10 de novembro de 2017, também não estavam disponíveis até janeiro de 2018, quando foi finalizada essa etapa da pesquisa. Com isso, os trabalhos e anais citados não foram considerados no estudo.

O processo de seleção de artigos contou com sete etapas, são elas:

1ª etapa: Busca por cada palavra-chave nas bases de dados digitais selecionadas;

2ª etapa: Seleção de textos por títulos que remetem ao ensino;

- 3ª etapa:** Leitura dos resumos e palavras-chave. As publicações que não se relacionavam à pesquisa foram desconsideradas e as que se encaixavam passaram para a próxima etapa;
- 4ª etapa:** Leitura dinâmica do texto. Essa etapa também desconsiderou as publicações que fugiram do tema da pesquisa;
- 5ª etapa:** Os textos foram classificados em uma das cinco categorias definidas nessa dissertação: “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”;
- 6ª etapa:** Leitura completa dos textos por categoria e verificação mais precisa se o conteúdo atende aos critérios da pesquisa;
- 7ª etapa:** Análise dos textos por categoria e extração de informações. Os dados extraídos foram: autor, ano de publicação, universidade, país, TIC utilizada, ferramenta utilizada e conteúdo ensinado.

A seguir, o Quadro 5 apresenta a quantidade de textos analisados em cada etapa do processo de seleção de artigos considerando os critérios de inclusão e exclusão apresentados.

Quadro 5 - Recorte amostral da pesquisa de acordo com o processo de seleção estabelecido.

Base de dados digitais	Quantidade de artigos ao longo da seleção por etapas						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
Ambiente Construído	37	11	4	2	Idem 4ª etapa	Idem 4ª etapa	1
PARC	64	11	6	4			3
Gestão & Tecnologia de Projetos	123	16	3	2			1
BDTD do IBICT	942	43	9	7			4
TIC	345	22	4	1			1
GRAPHICA	514	37	9	6			5
ENTAC	2.759	22	10	5			4
SBQP	305	7	2	1			1
CumInCAD	395	101	48	33			16
TOTAL	5.484	270	95	61	61	61	36

Fonte: Autor

Vale destacar que ao realizar a 7ª etapa, três publicações apresentaram experiências em mais de uma área de conhecimento e, por isso, esses textos foram utilizados em mais de uma categoria. Esses trabalhos foram Celani et al. (2017) apresentando experiências em “conforto ambiental” e “projeto”; Amim (2007) com estudos em “conforto ambiental”, “geometria” e “projeto”; e Basto e Lordsleem Junior (2016) com trabalhos em “construção” e “projeto”. Dessa forma, ao invés de 36 textos, foram analisados 40 trabalhos.

Os resultados da análise dos 40 trabalhos são apresentados nas próximas seções, que estão organizadas de acordo com as categorias das áreas do saber das Diretrizes Curriculares, que são: “construção”, “conforto ambiental”, “história”, “geometria” e “projeto”.

4.1 TICs no ensino dos conteúdos de “construção”

A adoção das tecnologias digitais no ensino de arquitetura e urbanismo não é um tema novo. Algumas universidades desenvolveram experiências didáticas explorando algumas potencialidades que as TICs podem oferecer para o ensino. A seguir serão destacados estudos que se enquadram no ensino de conteúdos da categoria “construção”.

Building Information Modeling (BIM)

Uma das possibilidades oferecidas pelas TICs no ensino de tecnologia da construção e sistemas estruturais foi descrita por Kubicki et al. (2012). Os autores (p. 87, nossa tradução) tratam sobre a aplicação da simulação 4D para auxiliar na “compreensão de simulação da sequência de montagem da construção, a fim de confrontar o aluno com a análise das características dos projetos existentes e com problemas de gestão da construção”. Esse estudo ocorreu na *University of Liège*, Bélgica, e os *softwares* utilizados na disciplina foram SketchUp™ para modelagem 3D e 4D Virtual Builder© (*plug-in* do SketchUp™) para modelagem e simulação 4D. Nessa experiência, os alunos utilizaram a tecnologia para modelar e testar soluções estruturais e componentes do sistema construtivo de edifícios construídos. Contudo, os professores também poderiam ter utilizado a simulação 4D para explicar conteúdos teóricos da disciplina e, assim, otimizar a compreensão desses alunos quanto aos temas tratados em sala de aula, como princípios estruturais e processos de construção. Desse modo, para essa dissertação, o recurso tecnológico e a alternativa proporcionados por essa experiência receberam o nome de ‘**planejamento da execução do projeto e obra**’ e ‘etapas de construção’, respectivamente.

Já Neiva Neto e Ruschel (2015) propõem um método de desenvolvimento de projeto de fôrma de madeira na plataforma BIM a partir da criação de uma biblioteca de componentes para este tipo de projeto. O *software* utilizado foi o Revit Structure. Um dos meios de validação do método foi em uma disciplina de graduação em engenharia civil realizada no segundo semestre de 2013 na Unicamp. Segundo os autores (2015, p. 194), os alunos deveriam realizar as seguintes atividades: (a) “instalação de fôrmas em dois pavimentos tipo de uma estrutura de concreto armado”; (b) “a elaboração de um cronograma de concretagem do pavimento tipo, incluindo a montagem da fôrma, concretagem e desfôrma”; e (c) “a criação da simulação 4D do processo”. Para a simulação 4D o programa utilizado foi o Navisworks. Como resultado, os alunos consideraram a biblioteca criada muito útil ou útil, principalmente em relação à visualização de fôrmas em projeto. Esse experimento foi usado para o ensino de

técnicas construtiva devido ao objetivo de utilizar a biblioteca de fôrmas que foram criadas pelos autores. Contudo, o exercício realizado pode ser empregado no ensino de outros conteúdos como sistemas construtivos, instalações e equipamentos prediais, organização de obras e canteiros, implantação de infraestrutura urbana, sistemas estruturais, domínio da concepção e do projeto estrutural, estabilidade das construções e fundação. O recurso tecnológico dessa experiência foi '**planejamento da execução do projeto e obra**' e a alternativa foi 'etapas de construção',

Mokhtar (2007) leciona uma disciplina com alunos do terceiro ano do curso de arquitetura da *American University of Sharjah*, Emiratos Árabes Unidos. O objetivo da disciplina era usar um *software* BIM Autodesk® Architectural Desktop (ADT) como meio de aprendizagem de sistemas estruturais durante a prática de projeto, uma vez que o autor acredita que a dificuldade da maioria dos alunos é de selecionar e adequar um sistema construtivo apropriado às condições de determinado projeto. Para isso, os estudantes foram instigados a construir virtualmente no programa ADT uma pequena edificação de um pavimento. O autor apontou vantagens no uso BIM no ensino como o surgimento de oportunidades de discussão de projeto relacionado à construção, maior senso prático da construção já que os alunos lidam com objetos de construção (parede, porta, janela, etc.) com propriedades condizentes com o mundo físico, além de realizar detalhes facilmente e visualizar materiais que possuem semelhança com os materiais de uma construção real. Uma das desvantagens assinaladas foi a "complexidade do uso do *software* BIM em comparação com outros *softwares* de modelagem 3D tradicionais" (MOKHTAR, 2007, p. 125). Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**. Vale salientar que diferentes *softwares* BIM possuem potencialidades para serem usados no ensino de "construção" permitindo abranger todos os conteúdos desta categoria. Algumas dessas potencialidades serão apresentadas no capítulo 5.

Outra possibilidade oferecida pelas TICs foi explorada por Basto e Lordsleem Junior (2016) em um estudo que descreve e analisa uma experiência de ensino de BIM na disciplina de *Construction Project Management I* ministrada no *Arizona State University* (ASU), EUA, em 2014. A disciplina possuía aulas teóricas, práticas e um trabalho final. Foram realizadas aulas práticas de capacitação nos *softwares* Revit, Navisworks Manage, Google Earth, SketchUp, Bluebeam Revu e Microsoft Management Project. Segundo os autores (p. 54), os temas trabalhados com esses programas foram "modelagem, logística do canteiro de obras, navegação no modelo, detecção de conflitos entre sistemas, instalações e componentes do projeto, gestão de atividades e funcionalidades e cronograma de obras (modelo 4D)". Além desses conteúdos, com o desenvolvimento do trabalho final da disciplina - que se tratava de preparar o planejamento de uma construção de uma clínica médica - os alunos

produziram um “plano de implementação de BIM para um empreendimento”, compreenderam como a plataforma “pode ser utilizada como suporte para o processo construtivo” e para o “planejamento de um sistema *Lean Construction*” (BASTO; LORDSLEEM JUNIOR, 2016, p. 53). Recurso tecnológico: **‘visualização do modelo e do projeto’, ‘verificação de incompatibilidades de projeto’ e ‘planejamento da execução do projeto e obra’**. O último recurso citado possui as seguintes alternativas de uso: ‘logística do canteiro de obras’ e ‘etapas de construção’.

Realidade Aumentada (RA)

A Realidade Aumentada também pode ser explorada no meio acadêmico como foi feito por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) em uma disciplina sobre “construção”. Os autores testaram um experimento nomeado AR Magic Book na *University of Central Florida*, EUA. Nesse estudo, a RA foi utilizada para aumentar o conteúdo dos livros didática. As imagens, tabelas e diagramas do livro funcionavam como um marcador. Quando dispositivos portáteis habilitados a *web* capturavam esses marcadores, informações virtuais (vídeos, sons, imagens 2D e modelos 3D) se sobrepunham ao livro, como pode ser observado na Figura 13. Com isso, a RA pode ser usada para potencializar a aprendizagem com o material didático sobre qualquer conteúdo. A fim de avaliar a eficácia do AR Magic Book, os alunos foram divididos aleatoriamente em dois grupos (A e B) de 8 pessoas, sendo que o grupo A participou de uma palestra tradicional e o grupo B participou de uma palestra idêntica a primeira, porém com o uso de RA incorporada. Esta análise indicou que o grupo B teve uma melhoria significativa no aprendizado a curto e longo prazo em comparação com o grupo A. Os resultados dos questionários feitos pelos alunos demonstram que gostaram do ambiente de aprendizagem interativo em comparação com a abordagem tradicional e houve maior interesse e motivação quando a RA foi utilizada na sala de aula. Como ponto negativo alguns alunos mencionaram que era difícil trabalhar com RA enquanto tentava se concentrar na palestra. Como conclusão, os resultados sugerem que RA pode oferecer melhores recursos de suporte à aprendizagem, fornece um espaço de trabalho interativo, encoraja a colaboração e a interação entre os alunos e os conteúdos do curso (BEHZADAN; VASSIGH; MOSTAFAVI, 2016). Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: por meio de ‘marcador ou GPS’ para exibir ‘Textos, imagens e/ou vídeos informativos’.

Figura 13 - AR Magic Book



Fonte: Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)

BIM e RA

Na mesma publicação, Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) realizaram outra experiência de ensino utilizando a realidade aumentada e BIM para ensinar tópicos abstratos a estudantes de graduação de arquitetura e construção em uma visita a campo. Nessa experiência, os autores desenvolveram um aplicativo chamado Skope (Figura 14). Esse aplicativo, que está disponível para baixar no *App Store* e no *Play Store*, fornece acesso a um modelo BIM sensível a localização permitindo a sobreposição desse modelo em um edifício do mundo real. Com isso, os alunos podem interagir com diferentes parâmetros do modelo tais como “orientação, entorno, direção de ventos predominantes, processos de construção, sistemas estruturais, detalhes de conexão, sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação” durante a aula e puderam analisar e compreender o funcionamento do edifício (BEHZADAN; VASSIGH; MOSTAFAVI, 2016, p. 265). Segundo os mesmos autores, para a produção do Skope, primeiro obteve-se um modelo BIM em Revit que foi exportado para o 3D Max onde detalhes e recursos foram adicionados, tornando o edifício realista. Ao mesmo tempo o conteúdo pedagógico (anotações visuais, animações e lições interativas) foi produzido. O modelo e os conteúdos pedagógicos foram exportados para o jogo Unity 3D a fim de construir o aplicativo de RA. O aplicativo usa a bússola do dispositivo móvel e sensores GPS, bem como a câmera para determinar a direção e a localização do usuário. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: por meio de ‘marcador ou GPS’ para relacionar o ‘projetado (virtual) e o construído (real)’.

Figura 14 - Aplicativo Skope



Fonte: Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)

Realidade Virtual (RV)

Uma das possibilidades de uso de RV no ensino de “construção” foi exibida por Stange (2012). O autor estudou o desenvolvimento de um protótipo de RV não imersivo onde o usuário realiza um treinamento virtual de montagem de uma fôrma para moldar um pilar de concreto armado, como mostra a Figura 15. A intenção do experimento é transmitir conhecimento sobre técnicas construtivas usando RV. A atividade foi realizada em um *laptop* e o *mouse* é usado para navegar e montar a fôrma. A modelagem do ambiente virtual foi feita no programa 3DS Max, usou biblioteca Visualization Toolkit (VTK) e compilador Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition. A validação do protótipo foi realizada em aulas-teste com alunos de graduação de engenharia civil e com um professor deste curso. Ao final, o protótipo obteve resultado positivo que atingiu o objetivo de ser “um ambiente virtual educacional motivador” (STANGE, 2012, p. 121). Vale destacar que protótipos de treinamento virtual podem ser expandidos para o ensino de outros conteúdos de “construção” como instalações e equipamentos prediais, organização de obras e canteiros, implantação de infraestrutura urbana, sistemas estruturais, resistência dos materiais, estabilidade das construções e fundações. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**. Alternativa: para capacitação profissional.

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Fabricação Digital é outra possibilidade explorada no ensino de “construção”. Quintella, Ferreira, Florêncio (2016) identificam experiências educacionais de

construção de pavilhões temporários através de fabricação digital. A experiência que se destacou no ensino correspondente à categoria “construção” foi o *Summer Pavilion programme* que ocorreu entre os anos 2005 e 2009 na *Architectural Association de Londres*. Esse programa resultou na montagem de quatro pavilhões (*Fractal Pavilion*, *Bad Hair Pavilion*, *Swoosh Pavilion* e *Driftwood Pavilion*) que objetivaram “explorar o potencial arquitetônico da construção em madeira” (QUINTELLA; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2016, p. 322). A Figura 16 mostra um dos pavilhões construídos. As ferramentas de modelagem 3D utilizadas foram Rhinoceros e o *plugin* Grasshopper. O processo didático consistiu em *workshop* sobre desenho paramétrico, linguagem de programação e uso de algoritmos e, depois, foram apresentadas técnicas de fabricação digital, principalmente corte a *laser*. Os autores (p. 320) destacam que “a natureza temporária do pavilhão cria uma oportunidade para testar novos materiais e processos construtivos, mas também para experimentar ideias teóricas e conceituais”. Recurso tecnológico: testar/estudar a forma.

Figura 15 – Montagem de fôrma no canteiro de obra virtual



Fonte: Stange (2012, p. 74)

Figura 16 - *Swoosh Pavilion* - terceiro pavilhão construído no programa AA.



Fonte: Quintella, Ferreira, Florêncio (2016)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “construção”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 6A consolida as experiências didáticas no ensino de “construção” utilizando a plataforma BIM. Adicionalmente, esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “construção” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Cabe acrescentar que esse quadro e todos os outros quadros das próximas seções dos capítulos 4 e 5 apresentam um demonstrativo das experiências estudadas que usaram TICs até o final de 2017 no universo pesquisado. Contudo, devido a rapidez com que as novas tecnologias e *softwares* são desenvolvidos e atualizados, a realização de uma tabela definitiva sobre essas informações fica impedida, uma vez que os dados se tornam obsoletos muito rapidamente.

Quadro 6A - Consolidação das experiências didáticas - BIM no ensino de “construção”

Recurso Tecnológico	Alternativas	Conteúdo de “construção”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Planejamento da execução do projeto e obra	Etapas de construção	Técnicas e sistemas construtivos, Sistemas estruturais	SketchUp™ e 4D Virtual Builder® (plug-in do SketchUp™)	Kubicki et al. (2012)	University of Liège, Bélgica
		Técnicas construtivas	Revit Structure e Navisworks	Neiva Neto e Ruschel (2015)	Unicamp, Brasil
	Logística do canteiro de obras	Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros	Revit, Navisworks Manage, Google Earth, SketchUp, Bluebeam Revu e Microsoft Management Project	Bastos e Lordsleem Junior (2016)	Arizona State University, EUA
Visualização do modelo e do projeto					
Verificação de incompatibilidades de projeto					
Interação com o modelo e o projeto		Sistemas estruturais	Autodesk® Architectural Desktop - ADT	Mokhtar (2007)	American University of Sharjah, Emiratos Arabes Unidos

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 6B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “construção” utilizando RA, BIM com RA, RV e FD.

Quadro 6B - Consolidação das experiências didáticas – RA, BIM com RA, RV e FD no ensino de “construção”

TIC	Recurso Tecnológico	Alternativas	Conteúdo de “construção”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA	Relacionar o real com o virtual	Marcaador ou GPS	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	AR Magic Book	Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)	University of Central Florida, EUA
BIM e RA		Projetado (virtual) e construído (real)				
RV	Interação com ambiente virtual	Para capacitação profissional	Técnicas e sistemas construtivos	3D Max, Microsoft Visual C++ 2008 Express Edition e biblioteca Visualization Toolkit (VTK)	Stange (2012)	UFPR, Brasil
FD	Testar/Estudar a forma		Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Domínio da concepção e do projeto estrutural	Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)	Universidade Federal do Rio de Janeiro,

Fonte: Autor

4.2 O papel das TICs no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”

O ensino da categoria “conforto ambiental” é bastante explorado pelas Tecnologias de Informação e Comunicação. Das TICs tratadas nessa dissertação e do universo pesquisado foram encontradas algumas publicações sobre este assunto que são apresentadas a seguir.

Modelagem da Informação da Construção (BIM)

Em um estudo feito na UFJF, Vilella, Lima e Zancaneli (2015) investigaram as possibilidades de aplicação de simulação em experiências acadêmicas. Os autores (p.756) estimularam alunos durante uma disciplina a experimentar diferentes abordagens de análise térmica “para a compreensão e avaliação das características

referentes ao conforto térmico do edifício em que estudam.” As abordagens utilizadas nesse estudo foram Carta Solar, SketchUp e Ecotect. Com isso, foi verificado a proximidade dos alunos com cada ferramenta e o produto final de análise. Como resultado foi verificado que as cartas solares demandam conhecimento técnico prévio, já que as informações precisam ser interpretadas. A análise do SketchUp foi feita por meio visual sem mensuração de dados. Já o Ecotect apresenta um resultado mais preciso e detalhado do modelo com aplicação de escalas de cores nas fachadas de acordo com a quantidade de radiação solar incidente. Com relação aos alunos contou-se que o fator determinante da escolha do tipo de análise é o domínio do método e da ferramenta. No final, foi constatado que *softwares* podem ser utilizados para suprir demandas de ensino ligado ao “conforto ambiental”. Vale destacar que o Ecotect foi desligado pela Autodesk em 20/03/2015 e suas funções passaram a funcionar no Revit, exceto a parte acústica. Esse experimento também poderia contribuir para ensinar outros conteúdos de “conforto ambiental” como condições climáticas e lumínicas. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

O estudo de caso apresentado por Alwan, Holgate e Jones (2014) em *Northumbria University*, Reino Unido, consistiu em palestras sobre projeto em BIM, seguido da aplicação do curso online de certificação do *Building Performance Analysis* (BPAC) oferecido gratuitamente pela Autodesk e, por último, os estudantes deveriam empregar esses conhecimentos em um projeto de arquitetura. Essa experiência demonstrou que foi possível rastrear as decisões tomadas durante o desenvolvimento de projeto e medir as consequências dela para o resultado do projeto. Além disso, os alunos manifestaram alto grau de aceitação e motivação com relação à participação da atividade. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Doelling e Nasrollahi (2012), Çavusglu (2015) e Celani (2012) investigam a integração de ferramentas de simulação computacional nos estágios iniciais de projeto, sendo que Çavusglu (2015) e Celani (2012) utilizam o *software* Vasari para essa avaliação. Sobre o Vasari, Celani (2012) diz que esse programa era disponibilizado pela Autodesk gratuitamente e não precisava ser instalado, pois funcionava a partir de um arquivo executável. Além disso, a partir de três informações conceituais de projeto como o estudo de massa simplificado do edifício, definição de tipologia (residencial, escritórios, comércio ou indústria) e posicionamento geográfico, o programa realizava três análises: (a) circulação de ar ao redor da edificação; (b) carga térmica recebida nas fachadas; e (c) custo da construção e do seu ciclo de vida. E os resultados das análises eram apresentados de quatro formas: (1) animações (túnel de vento); (2) visualização 3D; (3)

planilhas para Excel; (4) relatórios e gráficos gerados em formato PDF. Vale ressaltar que o Vasari foi desligado em 31/05/17 e suas funções foram transferidas para FormIt, Dynamo e Revit. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

A pesquisa de Çavusglu (2015) na Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Istambul, Istambul, discutiu sobre as oportunidades oferecidas pela ferramenta BIM Vasari nos estágios iniciais de projeto de arquitetura no que se refere à análise de desempenho e forma encontradas. Para tal fim, realizou um estudo de caso para analisar como os participantes interagem com a ferramenta e com o processo de projeto, além de verificar como efetivamente os alunos utilizam o Vasari como ferramenta de projeto. Para isso, os estudantes tiveram aulas teóricas e práticas de BIM, aprenderam o Vasari e, então, desenvolveram um projeto que exigia bom desempenho ambiental com custos razoáveis. Como resultado o *software* possui capacidades eficazes e funcionais para a fase conceitual de projeto, tem potencial de se desenvolver e é fácil de aprender. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Similarmente, Celani (2012) descreve uma experiência didática de utilização do Vasari⁹ em uma turma de projeto do 8º período na Unicamp em 2011. O programa foi ensinado aos alunos, porém seu uso não foi obrigatório, os alunos poderiam utilizá-lo como um recurso adicional de projeto. Como resultado foi verificado que apesar dos alunos aprendem um novo *software* trazendo oportunidades de simular diversas alternativas de implantação nas fases iniciais de concepção com modelos volumétricos simplificados, a maioria não usou essas vantagens, uma vez que essa disciplina ocorreu no 8º período e os discentes já possuíam uma formação prévia de utilizar outros procedimentos de decisão de projeto. Para essa questão a autora (p. 62) sugeriu uma “necessidade de uma reestruturação do ensino de atelier ao longo de toda a formação do arquiteto, e não apenas em uma disciplina, para que ele possa efetivamente incorporar as ferramentas de simulação nas etapas de concepção do projeto”. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Doelling e Nasrollahi (2012) também pesquisam na Universidade Técnica de Berlim, Alemanha, sobre a integração de ferramentas de simulação computacional nos estágios iniciais de projeto. Porém, diferente de Çavusglu (2015) e Celani (2012), os autores ensinavam o uso interconectado dos *softwares* DIVA (*plugin* de simulação de luz do dia para Rhinoceros3d), Design Builder (*software* BIM com interface para o mecanismo de simulação EnergyPlus), Rhinoceros3d (um modelador NURBS) e

⁹ O Vasari foi desligado em 31/05/17 e suas funções foram transferidas para FormIt, Dynamo e Revit.

Grasshopper3d (uma ferramenta de geometria paramétrica). Ademais, o modelo final de um dos grupos foi impresso por prototipagem rápida. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Já Yan e Liu (2007) realizaram no *Texas A&M University*, Estados Unidos, um estudo para melhorar o ensino de projeto sustentável por meio da plataforma BIM e de jogos de computador. Para isso, os autores desenvolveram um processo e ferramentas que consiste em três fases: projeto, jogo e atualização. A fase de projeto é desenvolvida em um *software* da plataforma BIM, que no protótipo preliminar foi utilizado o Revit, onde são inseridas informações geométricas e não geométricas. Na fase seguinte, o modelo BIM é transferido para o jogo por meio de um aplicativo. Nessa fase, o jogo faz simulações físicas no edifício e também avalia o comportamento humano de usuários virtuais no ambiente projetado e, então, os projetistas/estudantes são informados sobre a avaliação do projeto em termos de sustentabilidade e sobre as estratégias gerais de projeto e soluções específicas. Após a avaliação de sustentabilidade realizada pelo jogo, na última fase – atualização -, o projeto e o estilo de vida dos usuários virtuais podem ser modificados até que o desempenho satisfatório seja alcançado. Depois das três fases, as modificações realizadas ao longo do jogo são transferidas para o modelo BIM original sem necessidade de retrabalho. Esse tipo de metodologia motiva os alunos a aprenderem estratégias de projeto sustentáveis por meio de um jogo em seus próprios ambientes projetados, além de compartilhar e aplicar novas estratégias em projetos. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Em uma experiência acadêmica, Techel e Nassar (2007) utilizaram o *software* Archicad 10 para melhorar a percepção dos alunos com relação aos impactos do sol na edificação. A experiência foi realizada na *University of Sharjah*, Emiratos Árabes Unidos. Foram concebidos dois exercícios, o primeiro consistia em projetar um dispositivo de sombreamento para manipular a luz no espaço interior e o segundo tratou do projeto de uma casa padrão. Em ambos os exercícios, os alunos puderam avaliar o funcionamento do dispositivo e o impacto do sol na construção a partir da observação do caminho do sol ao longo do dia e do ano e das sombras geradas pelo programa. Com o avanço da tecnologia BIM, em 2018 esse exercício também poderia abranger o ensino de conteúdos de “conforto ambiental” como avaliação dos impactos no meio ambiente, desenvolvimento sustentável, condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Na Universidade de Brasília, Brasil, em 2007, Amorim et al. (2008) uniram a disciplina de Projeto Ambiental Integrado, que aborda sobre conceitos ambientais

relacionado ao projeto, com a disciplina Projeto de Arquitetura 5, que trata de projeto de edificações em altura. Nessa disciplina, os alunos elaboraram um projeto de edifício comercial em altura utilizando os *softwares* SolAr e Ecotect para análise de sombreamento e de insolação da implantação e da edificação. No decorrer do projeto foram apresentados recursos de simulação de iluminação e térmica do Ecotect. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

David, Faustini e Fontes (2017) realizaram a mesma experiência didática em dois cursos de arquitetura e urbanismo, sendo um na disciplina Conforto Térmico II no 3º período da Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru, e o outro em seminários de Conforto Ambiental no 10º período da Universidade Paulista, Campus Araçatuba. Os autores ensinaram geometria da insolação por meio do método tradicional e depois apresentaram aos alunos o programa SketchUp usando um projeto como exemplo. O intuito do uso deste programa era auxiliar no ensino de geometria da insolação a partir do uso do caminho do sol disponível no *software* em uma edificação georreferenciada, de modo que fossem propostas técnicas que melhorassem o conforto térmico e eficiência térmica da construção. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Celani et al. (2017) relataram o uso de ferramentas de análise ambiental em uma disciplina de projeto de edifícios altos no 9º período da Universidade de Campinas, Brasil. A intenção dos autores (p. 48) era que os estudantes fizessem um projeto que refletisse os conceitos sobre “edifícios energeticamente eficientes, com redução do consumo de energia por meio da iluminação e ventilação naturais”. A ferramenta utilizada foi o Vasari⁹ para análise do acúmulo de energia térmica nas fachadas e para explorar desempenho ambiental de “composições geométricas complexas [...], onde o grau de complexidade geométrica impossibilitaria o uso de *rules of thumb* (regras baseadas na experiência), uma vez que as fachadas possuíam orientação variável” (CELANI et al., 2017, p. 34). No final da disciplina, os alunos fizeram uma apresentação do projeto e as justificativas das decisões projetuais deveriam estar embasadas nas análises computacionais realizadas ao longo da disciplina. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**. Alternativa: análise de desempenho ambiental.

Realidade Aumentada (RA)

A Realidade Aumentada também foi utilizada no ensino de “conforto ambiental”. Amim (2007) relata um estudo feito por Kuo et al. (2004) sobre a aplicação de Realidade Aumentada no ensino de arquitetura sustentável na *National Cheng Kung University*, Taiwan. A RA foi utilizada como um meio para exploração do jardim ecológico da universidade. Através de um *tablet*, os alunos visualizavam virtualmente o sistema de

reaproveitamento de água do jardim e informações 2D, 3D e textos ficavam sobrepostas ao cenário real, ajudando a compreender o mecanismo do campus sustentável (Figura 17). Além disso, era possível interagir em tempo real fazendo anotações e observações na camada virtual e os usuários podiam circular com o *tablet* em um eixo determinado para adquirir informações dos edifícios circundantes. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: ‘Marcador ou GPS’ para exibir o ‘projetado (virtual) e construído (real)’ ou ‘textos, imagens e/ou vídeos informativos’.

Figura 17 – O usuário pode escrever notas e marcações pessoais diretamente na tela, além de baixar novas informações da internet, incluindo seus apontamentos.



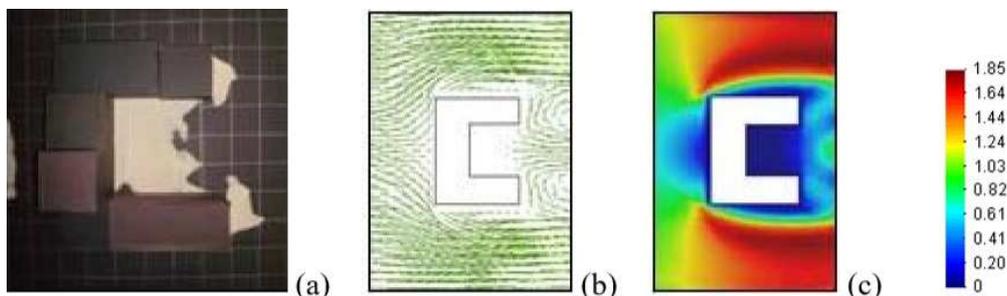
Fonte: Amim (2007, p. 104)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outra forma de ensinar “conforto ambiental” é utilizando a prototipagem rápida, conforme foi realizado por Drach, Vasconcellos e Corbella (2010). Os autores conceberam um experimento para montagem de material didático que consiste na visualização e análise do caminho do vento no espaço urbano. O experimento foi elaborado na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Foi realizada uma comparação entre simulação computacional e experimental em uma mesma composição urbana, no caso foram testadas situações hipotéticas e a região da Praça do Largo do Machado, RJ. A simulação computacional baseou-se no método de elementos finitos e os resultados são apresentados através de campos de vetores e isofaixas dos campos de vento. Já a simulação experimental adotou o método arrasto de areia ao redor de uma maquete e teste com túnel de vento. A Figura 18 mostra a comparação dos resultados de um agrupamento urbano hipotético usado para teste. Uma das vantagens apontadas pelos autores (s.p.) foi que a “visualização imediata do efeito do vento no nível do pedestre pode auxiliar os envolvidos no desenho urbano [...] visando o conforto dos ambientes externos” e citam que alunos podem desfrutar dessa experiência de forma não presencial por meio de imagens fotográficas, filmes e gráficos gerados durante o experimento. Vale destacar

que esse material didático tanto pode ser aplicado para o ensino de “conforto ambiental” como para “projeto”. Recurso tecnológico: **testar/Estudar a forma**. Alternativa: em túnel de vento.

Figura 18 - (a) Resultados dos experimentos com os blocos compactos: técnica do arrasto de areia; (b) simulação computacional, com o campo de velocidades; (c) as isoformas de velocidade.



Fonte: Drach, Vasconcellos e Corbella (2010)

Em uma disciplina de conforto ambiental na Universidade Federal de Viçosa, Brasil, Fonseca e Carlo (2012, p. 696) desenvolveram ferramentas didáticas para serem utilizadas “em aulas teóricas e como apoio à execução de exercícios em aulas práticas”, visando auxiliar os alunos na assimilação de conceitos considerados de maior dificuldade de apropriação. Os critérios de produção das ferramentas foram “durabilidade, facilidade no transporte, manuseio e entendimento, além do custo reduzido de produção”. Uma das ferramentas didáticas elaboradas foi um protótipo de iluminação natural para estudo de ambientes internos. O protótipo consistia em uma maquete na escala 1/20 para simular ambientes com diferentes proteções solares. Segundo os autores (p. 697), a maquete “possui paredes removíveis, proteções solares com mecanismos de encaixe e olhos mágicos para visualização da iluminação nos ambientes internos” (Figura 19). Essa ferramenta pode ser confeccionada por meio da prototipagem rápida visando maior durabilidade e manuseio do protótipo. Recurso tecnológico: **testar/Estudar a forma**.

Figura 19 - Maquete de iluminação natural – interior, com destaque para as proteções zenitais e paredes móveis.



Fonte: Fonseca e Carlo (2012, p. 697)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 7A consolida as experiências didáticas no ensino de “conforto ambiental” utilizando a plataforma BIM com o recurso tecnológico ‘simulação do modelo’ e a alternativa ‘análise de desempenho ambiental’. A predominância deste recurso tecnológico e da respectiva alternativa talvez se deva pela facilidade de utilização desse recurso no meio acadêmico. Adicionalmente, esse quadro evidencia os conteúdos de “conforto ambiental” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 7A - Consolidação das experiências didáticas – BIM no ensino de “conforto ambiental”

Conteúdo de “conforto ambiental”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Condições energéticas	SketchUp e Ecotect	Vilella, Lima e Zancanelli (2015)	UFJF, Brasil
Condições climáticas; condições lumínicas; condições energéticas	<i>Building Performance Analysis Certificate (BPAC)</i>	Alwan, Holgate e Jones (2014)	<i>Northumbria University, Reino Unido</i>
Avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável; condições climáticas, condições energéticas.	Vasari ⁹	Çavusglu (2015)	Universidade Técnica de Istambu, Istambul
Avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável; condições climáticas, condições energéticas	Vasari ⁹	Celani (2012)	Unicamp, Brasil
Desenvolvimento sustentável; condições climáticas; condições lumínicas; condições energéticas	DIVA, Design Builder, Rhinoceros 3d; Grasshopper 3d; Ecotect	Doelling e Nasrollahi (2012)	Universidade Técnica de Berlim, Alemanha
Preservação da paisagem; avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável;	Revit, Microsoft XNA Game Studio Express (XNA)	Yan e Liu (2007)	<i>Texas A&M University, EUA</i>
Condições lumínicas	Archicad 10	Techel e Nassar (2007)	<i>University of Sharjah, Emiratos Árabes Unidos.</i>
Avaliação dos impactos no meio ambiente Condições climáticas Condições lumínicas Condições energéticas	Ecotect e SolAr	Amorim et al. (2008)	Universidade de Brasília, Brasil
Condições lumínicas	SketchUp	David, Faustini e Fontes (2017)	Universidade Estadual Paulista, Campus Bauru, e da Universidade Paulista, Campus Araçatuba, Brasil
Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições lumínicas; Condições energéticas.	Vasari ⁹	Celani et al. (2017)	Universidade de Campinas, Brasil

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 7B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “conforto ambiental” utilizando RA e PR. Este quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “conforto ambiental” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 7B - Consolidação das experiências didáticas – RA e PR no ensino de “conforto ambiental”

TIC	Recurso Tecnológico	Alternativas		Conteúdo de “conforto ambiental”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA	Relacionar o real com o virtual	Marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real) Textos, imagens e/ou vídeos informativos	Avaliação dos impactos no meio ambiente; desenvolvimento sustentável	Aplicativo de RA	Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)	National Cheng Kung University, Taiwan
PR	Testar / Estudar a forma	Em túnel de vento		Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas	Arrasto de areia e teste com túnel de vento	Drach, Vasconcellos e Corbella (2010)	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
	Testar / Estudar a forma			Condições lumínicas	-	Fonseca e Carlo (2012)	Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Fonte: Autor

4.3 TICs no ensino dos conteúdos de “história”

Dentro do universo pesquisado não foi encontrado nenhuma publicação que trate sobre aplicação didática com uso de BIM, RA, RV, PR ou FD no ensino da categoria “história”, conforme conteúdos definidos pelas Diretrizes Curriculares no Quadro 3 da subseção 2.2.2., relacionados aos seguintes temas: ‘Técnicas Retrospectivas’, ‘Teoria e História da Arquitetura, do Urbanismo e do Paisagismo’ e ‘Informática Aplicada à Arquitetura e Urbanismo’. Cabe acrescentar que a área do saber ‘Estética e História das Artes’ faz parte da categoria “projeto”, devido às características expressas nas DCN e explicitadas no Quadro 2 da subseção 2.2.2: “IV - o conhecimento da história das artes e da estética, suscetível de influenciar a qualidade da concepção e da prática de arquitetura, urbanismo e paisagismo” (MEC, 2010). A categoria “projeto” será apresentada na seção 4.5 dessa dissertação.

Lamenta-se o fato do estudo não ter encontrado nenhuma publicação no universo pesquisado, uma vez que estudar história da arquitetura, segundo Brandão

(2012, p. 31) “dilata e aprofunda nosso entendimento dos próprios conceitos antigos, e testa a potencialidade deles para a compreensão do contemporâneo”.

Apesar disso, o capítulo 3 revelou que o BIM pode ser utilizado ao longo de todo o ciclo de vida da edificação e isso inclui a fase de operação, manutenção e renovação. Complementarmente, Volk, Stengel e Schuktmann (2014) apontam muitos benefícios no uso de BIM em edificações existentes. Ou seja, existem possibilidades de uso dessa tecnologia em construções finalizadas e em edifícios de importância histórica. Sobre esse último aspecto, Canuto (2017) destaca que o HBIM vem sendo utilizado na preservação do patrimônio histórico cultural.

Logo, percebe-se que o uso de TIC na preservação do patrimônio já ocorre e, portanto, se os professores tiverem conhecimento dessa tecnologia ou de outras, talvez eles pudessem incorporá-las em sala de aula no ensino de “história”. O mesmo vale para a realidade aumentada, realidade virtual, prototipagem rápida e fabricação digital. Com isso, a categoria “história” exhibe grandes potencialidades de uso de TICs no ensino que ainda não foram exploradas pelos professores. Algumas dessas possibilidades serão apontadas no capítulo 5.

4.4 “Geometria” utilizando ferramentas digitais

As TICs também podem ser utilizadas em disciplinas que trabalham de “geometria” e habilidades de desenho, conforme será apresentado a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Delatorre, Pereira e Pupo (2013 apud DELATORRE, 2014) realizaram uma pesquisa no curso de Arquitetura e Urbanismo da UNOCHAPECÓ, Santa Catarina, que introduziu o BIM na disciplina de desenho arquitetônico em turmas do 1º período do curso. O foco da disciplina era a leitura, interpretação e representação de desenhos arquitetônicos. Segundo os autores (p. 83), a ferramenta utilizada foi o Archicad e a “experiência limitou-se à modelagem e aos recursos de visualização” proporcionados pelo programa. Após a exposição de conteúdos teóricos relacionados à história do desenho arquitetônico, sistema Mongeano de representação e conceitos de CAD, CAAD e BIM, os alunos começaram a aprender os diferentes tipos de representação arquitetônica por meio da modelagem no *software* e extração de desenhos (plantas, cortes, vistas e fachadas). A pesquisa apontou que os alunos sentiram mais facilidade de interpretar e desenhar em 2D a partir do modelo BIM se comparado com os demais alunos que aprenderam da maneira tradicional. Com a terceira dimensão, os estudantes

passam a ter maior compreensão da volumetria, e a percepção espacial foi facilitada. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto.**

Checucci, Amorim e Pereira (2013) contam a experiência de introdução de BIM no curso noturno da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Brasil. Entre os assuntos abordados pelos autores, se destaca a experiência da disciplina ‘Desenho Projetivo’ que trata sobre conteúdos de geometria descritiva, perspectiva linear, desenho projetivo, introdução ao desenho técnico e desenho arquitetônico. O diferencial é que o conteúdo foi ensinado por meio da ferramenta SketchUp e não pelos recursos tradicionais de desenho. Explicações, exercícios e trabalhos foram praticados na disciplina por uma abordagem 2D e 3D através deste programa. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto.**

Similarmente à Checucci, Amorim e Pereira (2013), Pontes (2013) introduziu o uso de ferramentas computacionais na disciplina ‘Oficina de Fundamentação e Instrumentação’ do curso noturno da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, em 2013. Oferecida no primeiro período e com uma carga horária de 240 horas, essa disciplina aborda os seguintes conteúdos: desenho projetivo, desenho arquitetônico, modelagem tridimensional, tratamento gráfico e diagramação. Primeiramente, os alunos aprendiam geometria descritiva pelo programa SketchUp por meio de aulas teóricas e “como ferramenta para representação dos sistemas de projeção cilíndrica e cônica” (PONTES, 2013, p. 570). O autor (p. 570) explica que “são trabalhados problema típicos como a caracterização e interseção de planos no espaço e esses problemas são resolvidos tanto através do ferramental bidimensional do sistema projetivo quanto através dos facilitadores de operações do próprio *software*”. E acrescenta que os alunos representam bidimensionalmente a partir do modelo 3D e vice-versa. No final, o processo foi repetido com desenhos a mão livre em escala. Depois, o aluno repete o exercício que havia sido trabalhado apenas geometricamente só que agora usando elementos construtivos como a “representação de um telhado e a solução da interseção das diversas águas” através do *software* Revit (PONTES, 2013, p. 570). Como o curso estava em andamento, o autor ainda não possuía resultados definitivos, contudo ele apontou que este experimento fez o inverso do processo tradicional, pois parte-se do espaço 3D representado e o transforma em uma representação 2D. Adicionalmente, o autor cita que as vezes era difícil diferenciar se o aluno tinha dificuldade de compreender aspectos teóricos ensinados ou se apenas estava tendo dificuldade em manipular a ferramenta, e para esclarecer as dúvidas destes alunos foram usados croquis. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto.**

Florio (2007) descreveu uma experiência didática na disciplina Computação na Arquitetura no 3º ano da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil. Nessa disciplina,

os alunos modelaram três edifícios no *software* Revit 8.1 com o propósito de “verificar o aprendizado das relações espaciais entre os elementos construtivos”. Foram apontados como resultado a compreensão da representação 2D dos projetos, entendimento da sequência de execução da obra, redução de “erros de interpretação e articulação entre elementos construtivos no espaço” e, conseqüentemente, melhoria na qualidade dos projetos (FLORIO, 2007, s.p.). Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Vaz, Andrade e Silva (2011) introduziram TIC no ensino de Projeções Cotadas, mais especificamente no ensino de telhados, no curso de engenharia civil da Universidade Federal do Paraná, Brasil. Nessa experiência, os autores usaram 75% das aulas para ministrar o conteúdo teórico e exercícios sobre projeções cotadas com instrumentos de desenho (esquadros, régua e compasso) e nos 25% restante, utilizaram o *software* SketchUp onde modelaram os desenhos 2D em 3D. Os autores concluem que essa abordagem facilitou a compreensão dos assuntos teóricos, melhorou a visualização tridimensional, motivou e aumentou o interesse do aluno pela disciplina e resultou em maior rendimento nos conteúdos trabalhados. Os autores usaram uma TIC para auxiliar no ensino de habilidades de desenho, entretanto, esse procedimento pode ser aplicado aos outros conteúdos de “geometria” como domínio da geometria, perspectiva, modelagem, maquetes e modelos. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Realidade Aumentada (RA)

Outra forma de ensinar “geometria” com tecnologia é usando Realidade Aumentada. Amim (2007) e Lima, Haguenaer e Cunha (2007) citam uma experiência desenvolvida na *Technische Universitat Wien*, Áustria, chamada Construct 3D. Com essa ferramenta, os professores utilizam Realidade Aumentada para ensinar matemática e geometria. Esta é uma “ferramenta de construção 3D, sem animação, num ambiente imersivo com propósitos educacionais” (KAUFMANN et al., 2005 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.). Com a ajuda de um capacete (*Head Mounted Display*, display montado na cabeça) e uma caneta interativa, os alunos visualizam objetos 3D e trabalham diretamente no espaço tridimensional, onde podem criar e realocar pontos ou figuras geométricas tridimensionais e analisar a estrutura dos novos elementos criados (Figura 20). Segundo Amim (2007, p. 103), “a maior vantagem em utilizar RA, é que os estudantes passam a ver os objetos tridimensionais, que antes eles tinham que calcular e desenhar em um papel” e acrescenta que este método possibilita rápida compreensão das questões espaciais ensinadas se comparado com o método tradicional. Abreu (2002 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007) destaca

que esta ferramenta foi criada com intuito de contribuir para o ensino e não para substituir os métodos tradicionais. Recurso tecnológico: **Manipulação do modelo virtual**. Alternativa: sem marcador.

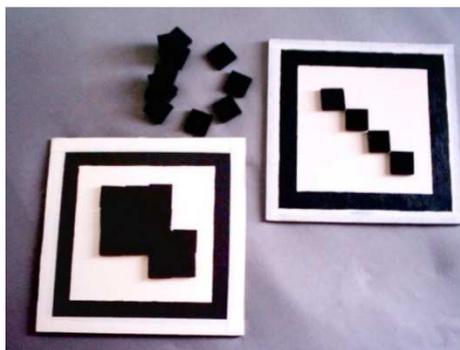
Figura 20 - Foto montagem da visão dos alunos interagindo com formas geométricas



Fonte: Amim (2007)

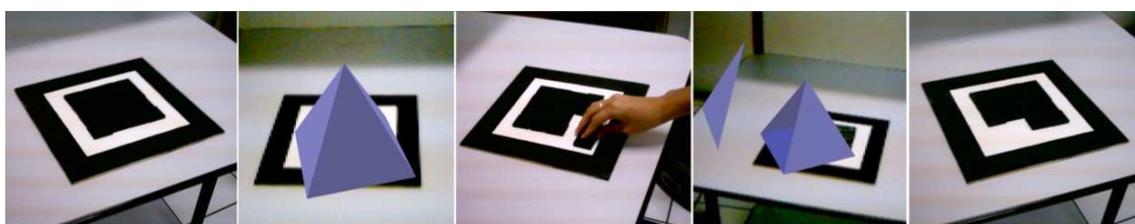
Lima, Haguener e Cunha (2007) apresentaram uma proposta de cartões marcadores reconfiguráveis desenvolvido por Meiguins, Almeida e Oikawa (2006) na Universidade Federal do Pará, Brasil, utilizando o sistema ARToolKit. Como pode ser observado na Figura 21, os marcadores são formados por uma base e pequenos peças (cubos) que quando agrupados em uma certa configuração exibem diferentes objetos de RA. Quando o marcador é modificado, o modelo virtual se altera no mesmo momento. A primeira aplicação desses marcadores reconfiguráveis ocorreu em uma disciplina de Geometria Espacial. Segundo Meiguins, Almeida e Oikawa (2006), uma das formas de utilizar os marcadores na disciplina para explicar os elementos que formam uma pirâmide, por exemplo, é montar um marcador que mostre primeiramente os vértices da pirâmide, depois, são acrescentadas peças neste marcador para revelar arestas ligando os vértices e, por fim, adiciona-se mais peças para formar as faces (Figura 22). Sendo que a retirada de algumas peças representa a remoção de algum elemento virtual. Outra forma descrita por Meiguins, Almeida e Oikawa (2006) de utilizar os marcadores é durante a proposição de exercícios, de modo que o enunciado da questão (texto, figura e dados) pode ser exibido em RA por um marcador, enquanto os alunos utilizam outro marcador para interagir com modelos 3D para resolver a questão proposta. Outra opção de exercício é utilizar um marcador com informações ensinadas em sala que auxiliem na resolução de uma questão. Recurso tecnológico: **visualização do modelo**. Alternativa: por meio de marcador.

Figura 21 - Base e das peças usadas para montar os marcadores reconfiguráveis



Fonte: Meiguins, Almeida e Oikawa (2006 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.)

Figura 22 - Demonstração da formação das faces da pirâmide e retirada de uma das faces.



Fonte: Meiguins, Almeida e Oikawa (2006 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.)

Outra alternativa de uso de RA em “geometria” foi apresentada por Lima, Haguenuer e Cunha (2007), que expõem um protótipo desenvolvido pela Escola de Belas Artes da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em conjunto com o Grupo Realidade Virtual (GRVA) do Laboratório de Técnicas Computacionais em Engenharia (LAMCE) da COPPE-UFRJ. O protótipo é um aplicativo para estudo e visualização de seções cônicas (círculo, elipse, parábola ou hipérbola) da Geometria Descritiva por meio da Realidade Aumentada. Segundo os autores (s.p.), o aplicativo foi elaborado “através do DART – *Designer’s Augmented Reality Toolkit*, que funciona no programa Macromedia Director MX”, visualizador *Monitor Based AR*, um computador e *webcam Creative*. O aplicativo possui quatro módulos de visualização:

- (1) Épura: visualização simultânea das vistas ortogonais do objeto estudado no espaço 3D;
- (2) Sólido Épura: observação das vistas anteriores acrescido do “sólido em 3D que deu origem à épura”;
- (3) Sólido: visualização em 3D da seção cônica sem as projeções ortogonais (Figura 23);
- (4) Saber Mais: mostra a “definição geométrica da seção cônica escolhida, segundo o Teorema de Apolônio” (LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007, s.p.).

Por último, os mesmos autores destacam que esse tipo de experimentação proporciona o desenvolvimento da Inteligência Espacial¹⁰, enquanto o ensino tradicional prioriza o ensino através das Inteligências Linguística¹¹ e Lógico-Matemática¹², o que resulta na dificuldade de os alunos compreenderem os temas abordados em sala. Recurso tecnológico: **visualização do modelo**. Alternativa: por meio de marcador.

Figura 23 - Interface do visualizar mostrando a seção cônica circular.



Fonte: Lima, Haguenaer e Cunha (2007, s.p.)

Andrade, Goulart e De La Cruz (2017) mostraram o resultado de um Trabalho de Conclusão de Curso de Design do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Brasil, que resultou em um livro chamado “Cadernos de Exercícios – desenho técnico com auxílio da realidade aumentada”. Como o próprio nome induz, este livro contém exercícios de desenho técnico com 30 peças diferentes mostrando vistas ortográficas, um *QR Code* e um espaço tracejado para o aluno desenhar as peças em perspectiva (Figura 24). Com o aplicativo Augment instalado no *smartphone* ou *tablet*, o aluno captura o *QR Code* e visualiza a resposta do exercício através da peça em 3D que aparece na tela do celular/*tablet* e pode ser manipulada (rotacionar e mexer no zoom). Segundo os autores (s.p), o aplicativo Augment foi “escolhido por oferecer licença educacional gratuita”. Vale destacar que qualquer usuário que faça um login pode inserir modelos nesse aplicativo. Dessa forma, **o Augment demonstra ser um recurso de fácil acesso aos professores que queiram utilizar RA em sala de aula e para os alunos que conseguem encontrar com facilidade o aplicativo no App Store ou Play**

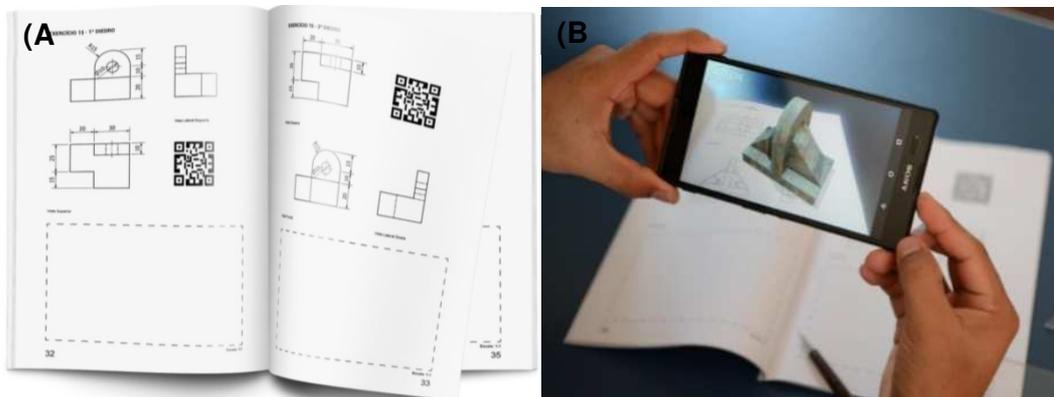
¹⁰ Trata-se de um tipo de inteligência definida na Teoria das Inteligências Múltiplas de Howard Gardner. Segundo Pinto (2014, p. 34), a Inteligência Espacial “consiste na capacidade de compreender o mundo visual com precisão, percebendo sem dificuldade distâncias e proporções dos objetos físicos no plano tridimensional.”

¹¹ Outro tipo de inteligência definida na Teoria das Inteligências Múltiplas, que “caracteriza-se pelo talento para trabalhar com a palavra e sua forma oral e escrita. [...] Também se encontra em pessoas capazes de associar palavras a estímulos não verbais, como o *sommelier*, que descreve os aromas de flores e frutas e um vinho” (PINTO, 2014, p. 33).

¹² Diz respeito a uma inteligência “desenvolvida em indivíduos com facilidade para a abstração, para o raciocínio dedutivo e para a solução de problemas lógicos e numéricos” (PINTO, 2014, p. 32).

Store. Recurso tecnológico: **Manipulação do modelo virtual.** Alternativa: por meio de marcador.

Figura 24 - (A) Livro de exercícios com vistas ortográficas e QR Code; (B) Uso do aplicativo Augment para visualizar a peça em perspectiva.



Fonte: Andrade, Goulart e De La Cruz (2017)

Markusiewicz e Slyk (2015) implementaram Realidade Aumentada na disciplina *Computer-Aided Modeling* no curso de arquitetura da *Warsaw University of Technology*, Polônia, nos anos acadêmicos de 2013/2014 e 2014/2015. O principal foco dos autores foi o ensino de RA para os alunos usarem em apresentações de projeto. Do ponto de vista dos autores, essa abordagem contribuiu para os alunos utilizem diferentes meios de expressarem seu trabalho – como incluir vídeo, som, texto, imagem e modelo digital em apresentações –, além de permitir que os espectadores interagem e explorem de maneira mais efetiva o modelo arquitetônico projetado (Figura 25). Os programas ensinados foram Metaio Creator, Metaio Cloud e aplicativo Junaio nos anos 2013/2014 e Unity 3d com Vuforia plugin, SDK e Rhinoceros3d nos anos 2014/2015. Recurso tecnológico: **Manipulação do modelo virtual.** Alternativa: por meio de marcador.

Figura 25 – Expectador interagindo com o modelo arquitetônico.



Fonte: Markusiewicz e Slyk (2015, p. 89)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Exercício acadêmico utilizando Fabricação Digital é uma das possibilidades exploradas no ensino de “geometria”. Quintella, Ferreira e Florêncio (2016) apresentam exemplos de pavilhões temporários desenvolvidos por meio de fabricação digital por alunos e professores em uma experiência acadêmica realizada em 2015 na FAU-UFRJ. O exemplo que se destaca no ensino de “geometria” é o *The Butterfly Gallery* (Figura 26) criado por iniciativa do PROARQ/FAU-UFRJ usando os recursos disponíveis no LAMO-3D – Laboratório da FAU-UFRJ. O pavilhão instigou a reflexão teórica e experimental sobre o “papel da geometria descritiva no contexto contemporâneo” (QUINTELLA; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2016, p. 323). As ferramentas de modelagem 3D utilizadas foram Rhinoceros e o *plugin* Grasshopper. O processo didático consistiu em *workshop* sobre desenho paramétrico, linguagem de programação e uso de algoritmos e, depois, são apresentadas técnicas de fabricação digital, principalmente corte a *laser*. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

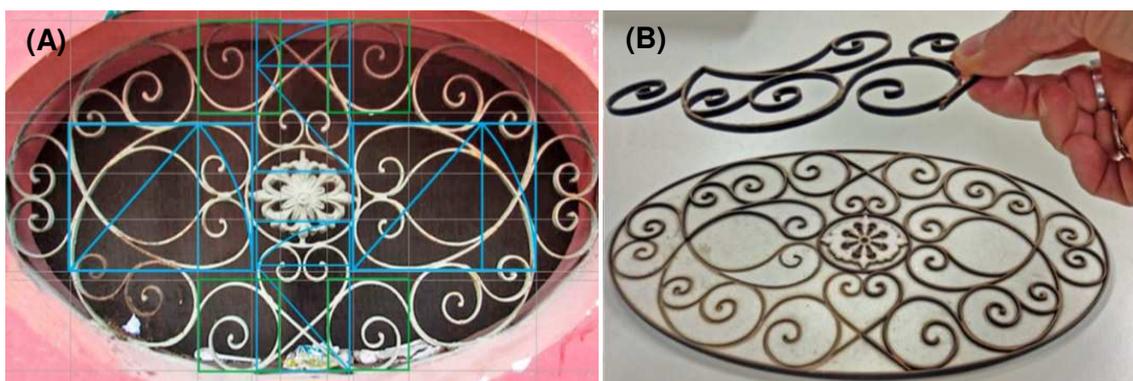
Figura 26 - Pavilhão *The Butterfly Gallery*



Fonte: <http://intervencoestemporarias.com.br/intervencao/butterfly-gallery/>

Borges et al. (2015) utilizaram artefatos metálicos de edificação de interesse patrimonial para realizar análises de geometria plana (entes geométricos, concordância, simetria e proporção), posteriormente, modelar, fazer o planejamento (definição do material e modo de montagem das partes) e corte das peças (Figura 27). O programa vetorial de modelagem usado foi o Autocad e o *software* para corte a *laser* foi o Laser CA. Esse experimento ocorreu na Universidade Federal de Pelotas, Brasil, e os autores destacam que este exercício aperfeiçoou o planejamento de métodos de representação digital, promoveu maior apropriação técnica para a reprodução de modelos físicos e reprodução de formas complexas, além de melhorar a compreensão das relações de proporção de elementos. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 27 - (A) Análise de proporção; (B) Modelo produzido por corte a laser



Fonte: Borges et al. (2015)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “geometria”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 8A consolida as experiências didáticas no ensino de “geometria” utilizando a plataforma BIM com o recurso tecnológico ‘Interação com o modelo e o projeto’. A predominância deste recurso tecnológico talvez se deva pela facilidade de utilização desse recurso em relação ao conteúdo que foi abordado. Adicionalmente, esse quadro evidencia os conteúdos de “geometria” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 8A - Consolidação das experiências didáticas – BIM no ensino de “geometria”

Conteúdo de “geometria”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Habilidades de desenho; Modelagem	Archicad	Delatorre, Pereira e Pupo (2013 apud DELATORRE, 2014)	UNOCHAPECÓ, Brasil
Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Perspectiva; Modelagem; Imagens virtuais.	SketchUp	Checcucci, Amorim e Pereira (2013)	Universidade Federal da Bahia, Brasil
Habilidades de desenho; Domínio da geometria Modelagem Imagens virtuais.	SketchUp e Revit	Pontes (2013)	Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
Habilidades de desenho; Modelagem; Modelos; Imagens virtuais.	Revit 8.1	Florio (2007)	Universidade Presbiteriana Mackenzie, Brasil
Habilidades de desenho	SketchUp	Vaz, Andrade e Silva (2011)	Universidade Federal do Paraná, Brasil

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 8B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “geometria” utilizando RA e PR. Esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “geometria” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas,

o autor, universidade e local do estudo. Percebe-se que houve uma predominância do recurso tecnológico ‘manipulação do modelo virtual’ em relação à RA e ‘testar / estudar a forma’ sobre PR/FD. Esse fato talvez se deva pela facilidade de utilização desses recursos com relação ao conteúdo que foi abordado.

Quadro 8B - Consolidação das experiências didáticas - RA, PR e FD no ensino de “geometria”

TIC	Recurso Tecnológico	Alternativas	Conteúdo de “geometria”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA	Manipulação do modelo virtual	Sem marcador	Domínio da geometria	Capacete e caneta interativa	Kaufmann et al. (2005 apud AMIM, 2007; LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007)	Universidade Técnica de Viena, Áustria
			Habilidades de desenho; Perspectiva	Livro, <i>QR Code</i> e aplicativo Augment.	Andrade, Goulart e De La Cruz (2017)	Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Brasil
			Modelagem; Imagens virtuais.	2013/2014: Metaio Creator, Metaio Cloud e aplicativo Junaio. 2014/2015: Unity 3d com Vuforia plugin, SDK e Rhinoceros3d.	Markusiewicz e Słyk (2015)	<i>Warsaw University of Technology</i> , Polônia
	Visualização do modelo	Por meio de marcador	Domínio da geometria	Marcador e sistema ARToolKit	Meiguins, Almeida e Oikawa (2006 apud LIMA; HAGUENAUER; CUNHA, 2007)	Universidade Federal do Pará, Brasil
DART (<i>Designer's Augmented Reality Toolkit</i>), programa Macromedia Director MX, visualizador <i>Monitor Based AR</i> , computador e <i>webcam Creative</i> .				Lima, Haguenuer e Cunha (2007)	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil	
FD	Testar / Estudar a forma		Domínio da geometria Modelagem Modelos	Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
PR			Domínio da geometria; Maquetes; Modelos.	Autocad para modelagem e Laser CA para corte a <i>laser</i>	Borges et al. (2015)	Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Fonte: Autor

4.5 TICs no ensino dos conteúdos de “projeto”

Tecnologias de Informação e Comunicação são bastante exploradas no ensino da categoria “projeto”. As publicações encontradas na RSL sobre este assunto são descritas a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Uma das possibilidades oferecidas pelas TICs no ensino dos conteúdos de “projeto” foi explorada por Basto e Lordsleem Junior (2016) em um estudo que descreve e analisa uma experiência de ensino de BIM na disciplina de *Construction Project Management I* ministrada no *Arizona State University (ASU)*, EUA, em 2014. A disciplina possuía aulas teóricas, práticas e um trabalho final. De acordo com os autores (p. 53), as aulas teóricas apresentaram “conceitos de gerenciamento de projeto com a utilização da metodologia” BIM e “exemplos da utilização de diferentes usos do BIM pelos profissionais da indústria de AEC”. E para uma aplicação prática dos conhecimentos adquiridos com as aulas teóricas e com os programas ensinados nas aulas práticas, foi realizado o trabalho final da disciplina que consistia em desenvolver o planejamento da construção de uma clínica médica. Nesse trabalho, os alunos formaram grupos que representavam uma empresa fictícia e o professor era o proprietário fictício que transmitia as informações da construção. De acordo com os autores (p. 55), as equipes fizeram um Plano de Execução do Projeto BIM onde organizaram “deveres e responsabilidades dos integrantes do grupo”, ordenaram o “detalhamento dos elementos do modelo” e estabeleceram “estratégias para o controle de qualidade do modelo”. Em seguida, os grupos fizeram a Proposta de Projeto BIM que consistia em definir as intenções de construção da clínica e a abordagem do BIM para cada fase do gerenciamento do projeto. O trabalho promoveu a aplicação dos conhecimentos teóricos de gerenciamento de projeto aprendidos na disciplina, além de experiências com os *softwares* aprendidos. Recurso tecnológico: **planejamento da execução**. Alternativa: do projeto.

Ambrose (2012) expõe uma abordagem diferente sobre a incorporação do BIM em disciplinas de projeto. A experiência didática realizada em 2011 e 2012 na *University of Maryland*, EUA, compreendeu a distribuição de um modelo BIM completo aos alunos. Com posse desse modelo, na primeira fase, os alunos participaram de oficinas com profissionais (engenheiros, arquitetos e consultores) que desenvolveram o modelo e explicaram como ocorreu o processo de projeto e resolução de problemas ao longo do projeto. Dessa forma, os alunos não só se familiarizam com o modelo BIM, mas também aprenderam como um projeto arquitetônico real se comunica com outras disciplinas. Na fase seguinte, os estudantes apresentaram o que aprenderam e, depois, colaboraram com esses profissionais para fazer ajustes no projeto considerando um novo sistema estrutural o que demandou, conseqüentemente, ajustes no modelo de arquitetura e de outras disciplinas. Em seguida, os alunos foram instigados a imaginar uma nova fachada considerando aspectos ambientais e, novamente, isto exigiu ajustes no projeto e no modelo. Os autores frisam que o objetivo foi propor diferentes maneiras de explorar o

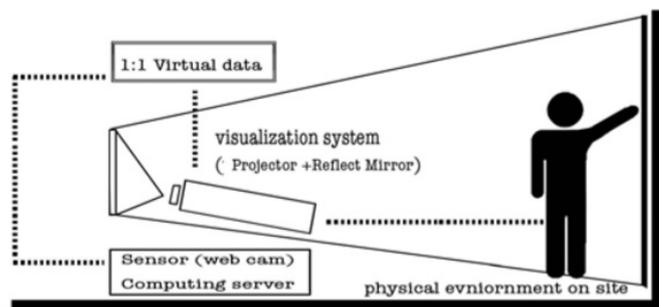
problema e não explorar apenas uma alternativa de ensino. De acordo com os autores (p. 65), essa é uma forma dos estudantes compreenderem o BIM além da ferramenta e o perceberem “como um meio para conceituar o desenvolvimento sistêmico de múltiplos processos de projeto a partir de diferentes perspectivas disciplinares”, além de desenvolver uma “avaliação crítica de seus efeitos e possibilidades na produção arquitetônica”. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Realidade Aumentada (RA)

Em sua pesquisa, Amim (2007) reuniu publicações que demonstraram a utilização de realidade aumentada em diferentes campos da arquitetura e urbanismo. Com relação às experiências didáticas que exploraram o uso de RA no ensino, o autor cita quatro casos que se enquadram na categoria “projeto”, que são descritos a seguir.

- (1) Em uma experiência acadêmica nas universidades *National Chiao Tung University* (NCT U) e *National Yunlin University of Science and Technology* (NYUST) em Taiwan, Chen e Chang (2006 apud AMIM, 2007, p. 80) utilizaram uma projeção interativa em escala 1/1 em que os alunos puderam aprender “o espaço usando essa ferramenta e tomem decisões interagindo com o sistema, em tempo real”. A projeção interativa é composta de um projetor, um espelho para aumentar a área de projeção e uma *webcam* para captar movimentos (Figura 28). Esse sistema projeta desenhos em escala real que podem ser modificados por um usuário por meio de gestos, como “fazer linhas, aumentá-las ou diminuí-las, desenhar quadrados, círculos, mover, duplicar, desenhar linhas irregulares, além de simular algumas texturas” (Figura 29). Essa abordagem foi utilizada para o ensino de projeto de interiores, porém também existe a possibilidade de ser usada em projeto de outras escalas. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual**.
- (2) Amim (2007, p. 82) cita um experimento realizado na *University of North Carolina*, EUA, em 2006 em que foi construído em escala real as superfícies de um ambiente projetado no meio digital com material poliuretano. E, então, o ambiente virtual foi projetado sobre as superfícies construídas e o usuário pôde interagir com o projeto modificando-o, bem como percebendo o espaço projetado em escala real (Figura 30). Esse tipo de experimento pode ser usado em discussões de projeto de interiores. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual**.

Figura 28 – Equipamentos que compõe a projeção interativa



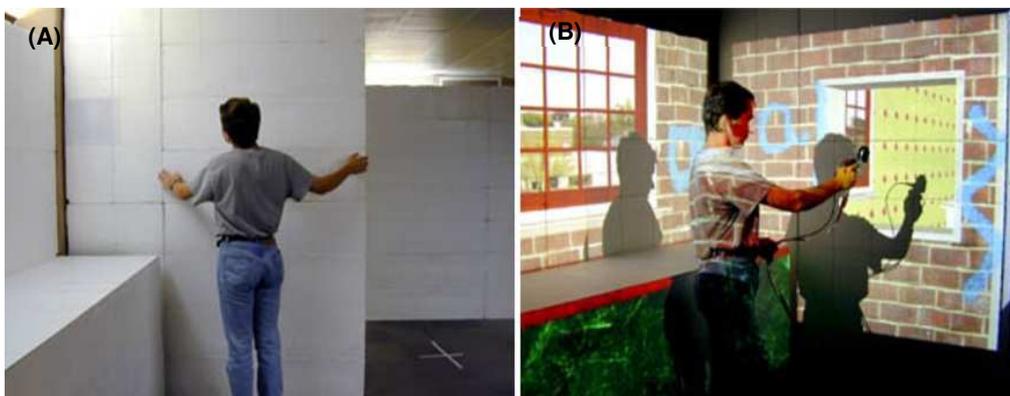
Fonte: Amim (2007, p. 81)

Figura 29 – Professor fazendo modificações no desenho em tempo real.



Fonte: Adaptado de Amim (2007, p. 81)

Figura 30 – (A) Blocos de poliuretano são construídos de acordo com o modelo digital; (B) Usuário interagindo com o ambiente virtual

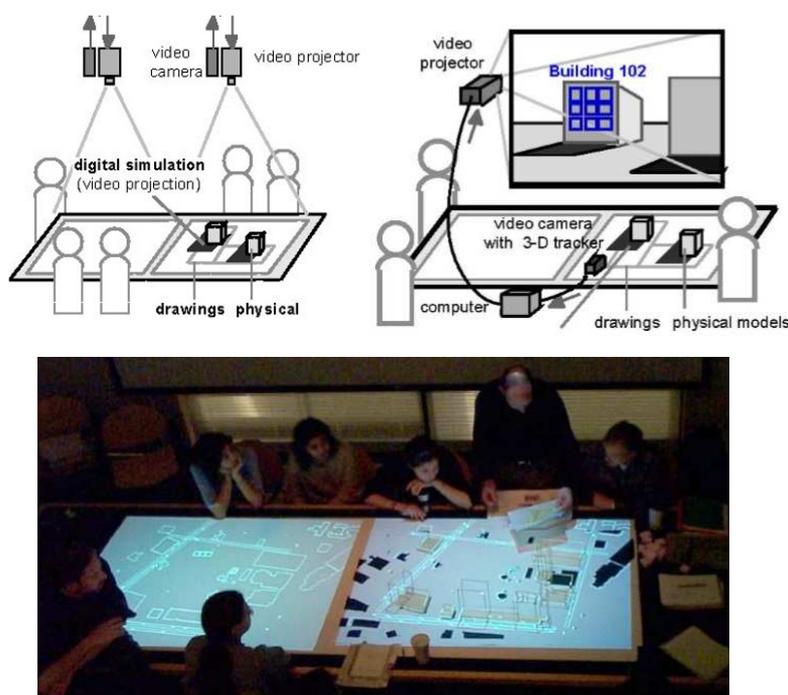


Fonte: Adaptado de Amim (2007, p. 82)

(3) A mistura de TICs com materiais tradicionalmente utilizados na disciplina de projeto pode trazer uma nova percepção para o projeto, como é o caso do uso de RA na disciplina de Planejamento Urbano. Segundo Piper, Ratti e Ishii (2000 apud AMIM, 2007), os materiais usados no processo de projeto (desenhos 2D, maquetes e simulações digitais) podem ser colocados em uma mesa, chamada *Luminopus Table*. Nessa mesa, o computador reconhece as posições dos objetos e, então, simulações digitais são projetadas sobre os materiais como

sombras, simulação de tráfego, modelos 3D de edifícios, ruas e topografias. E a partir de uma câmera com rastreador de posição e um vídeo projetor são projetadas imagens aumentadas na parede da sala para interação da turma com os materiais posicionados na mesa. A Figura 31 ilustra a aplicação desse sistema. Apesar da imagem se referir à aplicação de Realidade Aumentada na aula de Planejamento Urbano, também existe a possibilidade de utilizar esse método em aulas de projeto urbano, de arquitetura e de paisagismo, já que é possível estudar a inserção de um projeto específico no contexto urbano. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**. Alternativa: uso de ‘marcador ou GPS’ para relacionar o ‘projetado (virtual) e o construído (real)’ ou visualizar ‘textos, imagens e/ou vídeos informativos’.

Figura 31 – Realidade Aumentada sendo utilizada na disciplina de Planejamento Urbano.

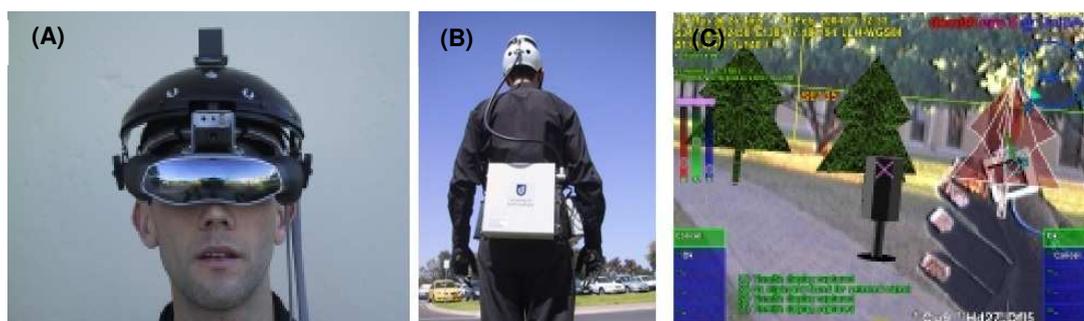


Fonte: Amim (2007)

- (4) Com o uso de vídeo capacetes leves, sistema GPS e uma vestimenta com computador, Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007, p. 84) realizaram uma experiência com os alunos da *University of South Austrália*, Austrália. Os alunos visualizaram, analisaram e projetaram uma edificação no campus da universidade em um ambiente externo (Figura 32). Com isso, os discentes “puderam ter a sensação de espaço, ajustaram medidas, definiram alturas, puderam constatar a contribuição dessa ferramenta, complementando a tecnologia CAD e libertando o projeto de somente representações 2D.” Esse experimento foi realizado a mais de dez anos e como a tecnologia avançou

desde então, em 2018 esse ensaio pode ser reproduzido com equipamentos menores e mais leves. Adicionalmente, este estudo pode ser utilizado em diferentes tipos de projeto (arquitetura, urbanismo, instalações e estrutura) facilitando a percepção do aluno em relação ao projeto que ele está criando. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual e relacionar o real com o virtual**. Alternativa do último recurso citado: uso de ‘marcador ou GPS’ para relacionar o ‘projetado (virtual) e o construído (real)’

Figura 32 – (A) Vídeo capacete; (B) Sistema móvel, computador e vestimenta; (C) usuário visualizando o ambiente real e virtual.



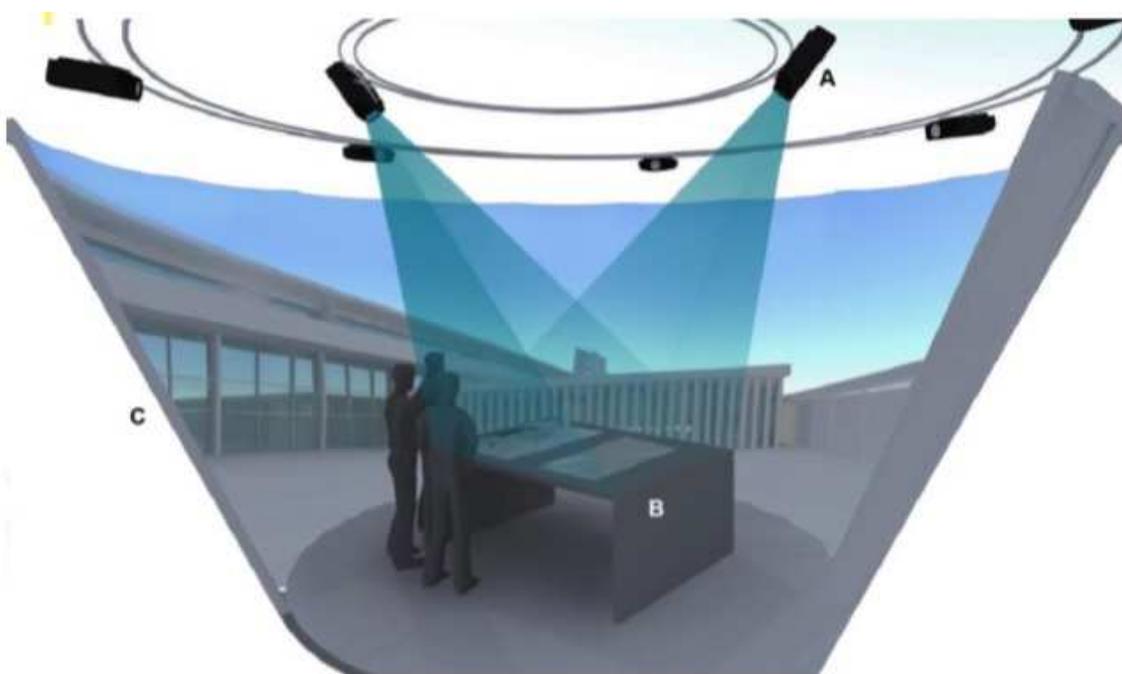
Fonte: Amim (2007, p. 85)

RA e RV

Milovanovic et al. (2017) desenvolveram uma plataforma chamada CORAULIS que combina realidade aumentada e virtual em um único ambiente para uso em discussões pedagógicas de projeto entre alunos e professor. Esse projeto foi criado por uma equipe da *L'École Nationale Supérieure d'Architecture nantes*, *L'Ecole Centrale de Nantes* e *Le Centre National de la Recherche Scientifique*, França. No CORAULIS, a RA é possibilitada por quatro projetores que exibem texturas em uma visão de cima para baixo no centro da plataforma (Figura 33). A RV é proporcionada por uma tela 360° e seis projetores que promovem uma imersão visual e auditiva, bem como uma visão em primeira pessoa do projeto do estudante. Tanto o ambiente de RA como RV possuem interface de interação do usuário com objetos de ambas representações e navegação no cenário caminhando, voando ou ativando camadas de simulação. A projeção das realidades aumentada e virtual partem da importação de um modelo 3D, e simulações simples também são geradas. Desse modo, os autores (p. 526, tradução nossa) descrevem o uso da plataforma em sala de aula: o aluno navega pelo projeto e “dentro do modo de navegação, os participantes verão um avatar movendo-se na projeção da mesa enquanto a visão da primeira pessoa está mudando de acordo com a posição do avatar no modelo virtual 3D” e acrescenta que “a eficiência da solução de projeto proposto pode ser discutida com base no elenco de sombras”, que são alteradas

instantaneamente conforme a configuração de dia e horário estabelecidas. Os autores comentam que essa plataforma está sendo construída e a previsão de conclusão é final 2017 a fim de pôr em prática essa experiência em sala de aula, e adicionam que a intenção do CORAULIS é centrada em representações para enriquecer a discussão de projeto mais do que promover a concepção durante a sessão. Contudo, eles acreditam que a visualização de múltiplos pontos de vista incorporados em um único ambiente físico com possibilidade de interação e navegação em RA e RV permitirá vantagens como apoio ao projeto colaborativo e facilidade na compreensão espacial individual em relação ao projeto. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

Figura 33 - (A) projetores (apenas dois são representados na imagem) para projeção da RA na mesa; (B) mesa com planos aumentados e maquete; (C) tela imersiva.



Fonte: Milovanovic et al. (2017)

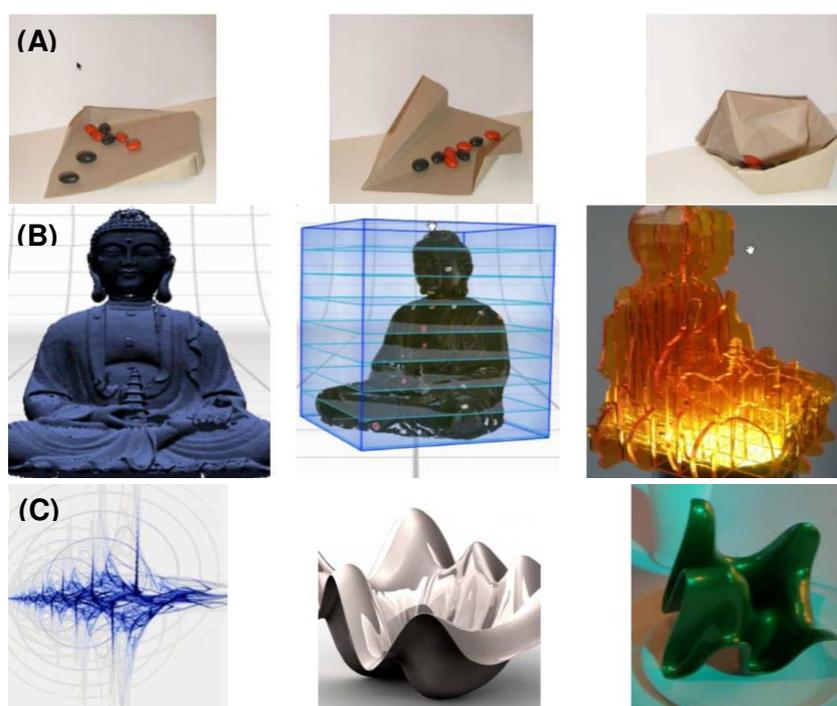
Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

A Prototipagem Rápida também pode ser utilizada no ensino de “projeto” conforme é demonstrado a seguir.

Por meio de uma prática criativa e exploratória, os alunos de Gu, Jones e Williams (2010) avaliaram, exploraram e selecionaram ferramentas de projeto digital e de prototipagem rápida que melhor se adequam ao tipo de projeto e a maneira de projetar. Em um semestre da disciplina de projeto na *University of Newcastle*, Austrália, os autores apresentam diferentes ferramentas de projeto das quais receberam foco o *scanner 3D*, *haptic pen*, máquina CNC, máquina FDM e cortador a *laser*. Foram adotadas três abordagens de projeto para apoiar o processo criativo baseado em

ferramentas digitais: interação física de projeto; interação física e digital; e interação digital de projeto. Os autores mostram peças produzidas pelos alunos que exemplificam cada uma das três abordagens citadas (Figura 34). A imagem A mostra três modelos de placa de jantar influenciada por técnicas de dobramento de origami que foram manipulados manualmente (interação física). O modelo final foi escaneado por um scanner 3D para criar o modelo digital que, por sua vez, foi impresso pela máquina FDM criando um protótipo. A imagem B exibe a escultura de Buda (interação física) que foi digitalizada para o aluno explorar técnicas de desconstrução do modelo digital (Interação digital). Neste modelo foram utilizadas técnicas de cortes em perfis horizontais e verticais e os perfis foram confeccionados no corte a *laser* para produzir o protótipo final. Por fim, a imagem C apresenta uma tigela criada a partir de ondas sonoras de uma música. As frequências foram destacadas, depois o aluno combinou a sequência no espaço 3D para criar a forma (interação digital) e, por último, fez a prototipagem da tigela. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 34 - (A) placa de jantar influenciado por técnicas de dobramento de origami; (B) Escultura que reflete o desconstrutivismo; (C) Tigela baseada em ondas sonoras de uma música.



Fonte: Gu, Jones e Williams (2010)

Celani et al. (2017) relatam uma experiência em ateliê de projeto de edifícios altos no 9º período da Universidade de Campinas, Brasil. Os autores adotaram o uso de prototipagem rápida para produção de maquetes nas etapas iniciais e finais da disciplina. Na etapa inicial foi solicitado que os alunos fizessem uma maquete na escala 1/1.000 da região escolhida e da proposta inicial, sendo esta última para ser inserida na

maquete urbana. As maquetes foram feitas com papelão ondulado cortado a laser. Na etapa final, as maquetes deveriam ser confeccionadas em escala ampliada para mostrar os detalhes de um elemento do edifício projetado pelo aluno, bem como sua articulação com outros elementos. Os autores (p. 47) comentaram que “a apresentação das maquetes ao longo de todo o processo de projeto permitiu que fossem discutidas questões relativas à implantação urbana e aos objetivos das estratégias projetuais adotadas, especialmente aquelas relativas ao partido estrutural” e também citam que a rapidez da produção da maquete urbana foi viável devido ao uso da cortadora a laser. Recuso tecnológico: **antecipar decisões**. Alternativa: de projeto.

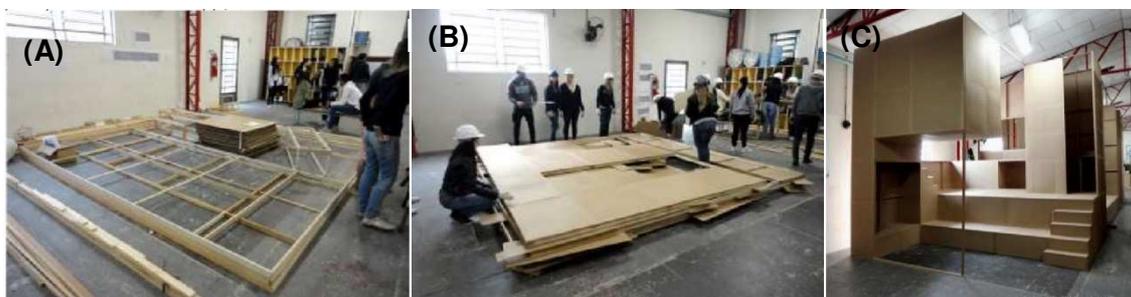
Da mesma forma, Oliveira (2011) relata sobre visitas técnicas realizada à algumas universidades que utilizam prototipagem rápida e fabricação digital, entre elas estão a Universidade de Campinas, Brasil, em 2010 e *Architectural Association School of Architecture* (AA), Londres, em 2009. Em ambas as universidades a autora realça que os projetos desenvolvidos em disciplinas se destacam pelo uso de protótipos como ferramentas de projeto auxiliando no processo decisório volumétrico e construtivo, além da compreensão do funcionamento do processo de fabricação. A mesma autora (2011) e Oliveira e Fabrício (2009, p. 641) apontam que a dinâmica de ensino de disciplinas que usam tecnologia (PR e programas paramétricos) é a mesma dinâmica de uma disciplina tradicional, ou seja, “lança-se um tema, visita-se a área de intervenção para levantamentos, inicia-se a conceituação teórica e conceituação arquitetônica”. Contudo, a diferença no ensino se difere na fase de conceituação arquitetônica, uma vez que o uso de protótipos e programa paramétricos permitem uma “investigação formal mais complexa”, induzindo “a reflexão tectônica/construtiva do projeto” e o “processo decisório do projeto baseado na PR e nos modelos parametrizados”. Recuso tecnológico: **antecipar decisões**. Alternativa: de projeto.

Imbronito e Almeida (2015) descrevem a execução de *mock-up*¹³ de habitações mínimas projetadas pelos alunos do 1º ano da disciplina de ‘Introdução ao Projeto de Arquitetura e Urbanismo’ da Universidade São Judas Tadeu, Brasil. A estrutura do *mock-up* contou com montantes formados por sarrafos de madeira aparafusados e a vedação da habitação era feita por painéis de madeira (Figura 35). O objetivo final da construção do *mock-up* é fazer os alunos perceberem que o projeto é uma representação de algo que será construído, caracterizando-se como uma experiência material e construtiva de um projeto. Os autores (p. 292) destacam que “o modelo não é apenas utilizado como ferramenta de projeto. Através dele, é também possível desenvolver e experimentar o sistema construtivo, estabelecer a relação entre espaço

¹³ *Mock-Up*, segundo Imbronito e Almeida (2015, p. 292), é a “construção de um elemento material complexo em escala real”.

e matéria, e ainda perceber, sob os aspectos visual, tátil e espacial, o efeito do espaço em sua real dimensão”. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 35 - (A) estrutura do *mock-up*; (B) Painéis de madeira aguardando montagem; (C) *Mock-up* executado 1:1.



Fonte: Imbronito e Almeida (2015)

Resumo das experiências didáticas de ensino dos conteúdos de “projeto”

Com base no universo pesquisado, o Quadro 9A consolida as experiências didáticas no ensino de “projeto” utilizando a plataforma BIM. Adicionalmente, esse quadro evidencia os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos, os conteúdos de “projeto” que foram ensinados - apresentados na seção 2.2.2 -, as respectivas ferramentas usadas, o autor, universidade e local do estudo.

Quadro 9A - Consolidação das experiências didáticas - BIM no ensino de “projeto”

Recursos tecnológicos	Alternativas	Conteúdo de “projeto”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Planejamento da execução	do projeto	Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando custo durabilidade e manutenção; Aspectos econômicos; Sistemas de infraestrutura	Revit, Navisworks Manage, Google Earth, SketchUp, Bluebeam Revu e Microsoft Management Project	Bastoe Lordsleem Junior (2016)	Arizona State University, EUA
Interação com o modelo e o projeto		História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Habilidades para realizar construções considerando durabilidade, manutenção, especificações	Não especifica qual ferramenta BIM foi usada.	Ambrose (2012)	University of Maryland, EUA

Fonte: Autor

Da mesma forma, o Quadro 9B exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “projeto” utilizando RA. Percebe-se que houve uma predominância do recurso tecnológico ‘manipulação do modelo virtual’ em relação à RA. Esse fato talvez se deva pela facilidade de utilização desses recursos com relação ao conteúdo que foi abordado.

Quadro 9B - Consolidação das experiências didáticas - RA no ensino de “projeto”

Recursos tecnológicos		Alternativas	Conteúdo de “projeto”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
Manipulação do modelo virtual			Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Levantamentos topográficos.	Projetor, um espelho para aumentar a área de projeção e uma <i>webcam</i> com sensor para captar movimentos.	Chen e Chang (2006 apud AMIM, 2007)	<i>National Chiao Tung University</i> (NCT U) e <i>National Yunlin University of Science and Technology</i> (NYUST), Taiwan
			Conceber projetos de arquitetura	Placas de poliuretano, projetor e câmera com sensor	Amim (2007, p. 82)	<i>University of North Carolina</i> , EUA
			História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura; Planos de intervenção no espaço urbano; Levantamentos topográficos.	<i>Smartphone</i> ou <i>tablet</i> com um aplicativo de RA instalado e criado para o propósito da disciplina	Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)	<i>University of South Austrália</i> , Austrália
Relacionar o real com o virtual	Marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real)	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; Levantamentos topográficos.	<i>Luminopus Table</i> , câmera com rastreador de posição, vídeo câmera e vídeo projetor	Piper, Ratti e Ishii (2000 apud AMIM, 2007)	MIT, EUA
		Textos, imagens e/ou vídeos informativos				

Fonte: Autor

Igualmente, o Quadro 9C exibe a consolidação das experiências didáticas no ensino de “projeto” utilizando RA com RV, PR e FD. Percebe-se que houve uma predominância do recurso tecnológico ‘testar / estudar a forma’ em relação à PR/FD. Esse fato talvez se deva pela facilidade de utilização desses recursos com relação ao conteúdo que foi abordado.

Quadro 9C - Consolidação das experiências didáticas – RA com RV, PR e FD no ensino de “projeto”

TIC	Recursos tecnológico Alternativas	Conteúdo de “projeto”	Ferramenta	Autor (ano)	Local, País
RA e RV	Interação com ambiente virtual	História das artes e da estética; Aspectos antropológicos e Sociológicos; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.	CORAULIS: importação de modelos 3D e simulações.	Milovanovic et al. (2017)	<i>L'École Nationale Supérieure d'Architecture nantes, L'École Centrale de Nantes e Le Centre National de la Recherche Scientifique, França</i>
PR	Antecipar decisões de projeto	Conceber projetos de arquitetura e urbanismo; Urbanismo e desenho urbano; Planos de intervenção no espaço urbano.	Cortadora a <i>laser</i>	Celani et al. (2017)	Universidade de Campinas, Brasil
		História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo	Rhinoceros	Oliveira (2011); Oliveira e Fabrício (2009)	Universidade de Campinas, Brasil, e <i>Architectural Association School of Architecture (AA)</i> , Londres
	Testar / Estudar a forma	Conceber projetos de arquitetura	<i>Scanner 3D, haptic pen, máquina CNC, máquina FDM e cortador a laser</i>	Gu, Jones e Williams (2010)	<i>University of Newcastle, Austrália</i>
FD	Testar / Estudar a forma	Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando especificações.	Construção de <i>mock-up</i>	Imbroni e Almeida	Universidade São Judas Tadeu, Brasil

Fonte: Autor

4.6 Avaliação dos dados obtidos na RSL

Com relação ao universo explorado na Revisão Sistemática de Literatura, nota-se, no Gráfico 3, um equilíbrio entre as experiências realizadas no cenário nacional (22) em comparação com o cenário internacional (22). Entretanto, ao realizar uma análise por categoria pondera-se que a “geometria” foi mais explorada em experiências nacionais (10), enquanto “projeto” apresenta mais estudos internacionais (9). Já as categorias “construção” e “conforto ambiental” manifestam um certo equilíbrio na quantidade de experiências exploradas em ambos cenários.

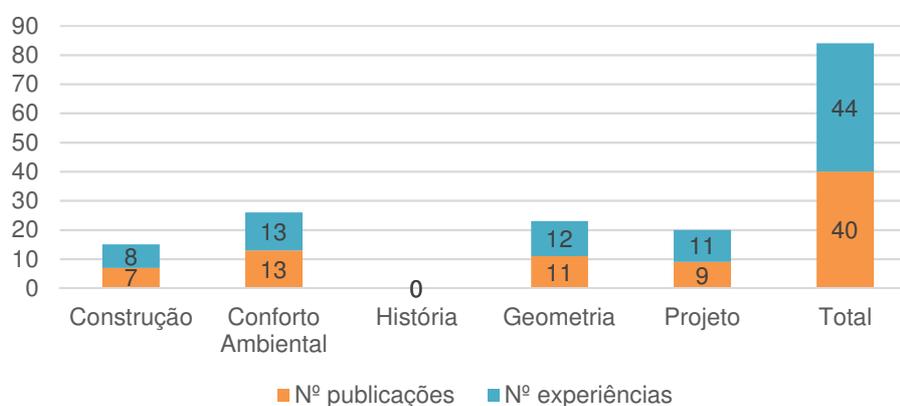
Gráfico 3 – Quantidade de experiências nacionais e internacionais



Fonte: Autor

Também se observa que os 40 trabalhos analisados apresentaram 44 experiências de utilização das TICs no ensino de arquitetura e urbanismo, conforme pode ser observado no Gráfico 4. A categoria que mais explorou as alternativas oferecidas pelas ferramentas digitais, conforme levantamento realizado, foi “conforto ambiental” (13), seguida de “geometria” (12), “projeto” (11) e “construção” (8). No universo analisado não foi encontrada nenhuma experiência de uso de BIM, RA, RV, PR ou FD no ensino de “história”, salvo questões específicas da área do saber ‘Estética e História das Artes’, que pertence a categoria “projeto”.

Gráfico 4 - Número de publicações x número de experiências exploradas por categoria.

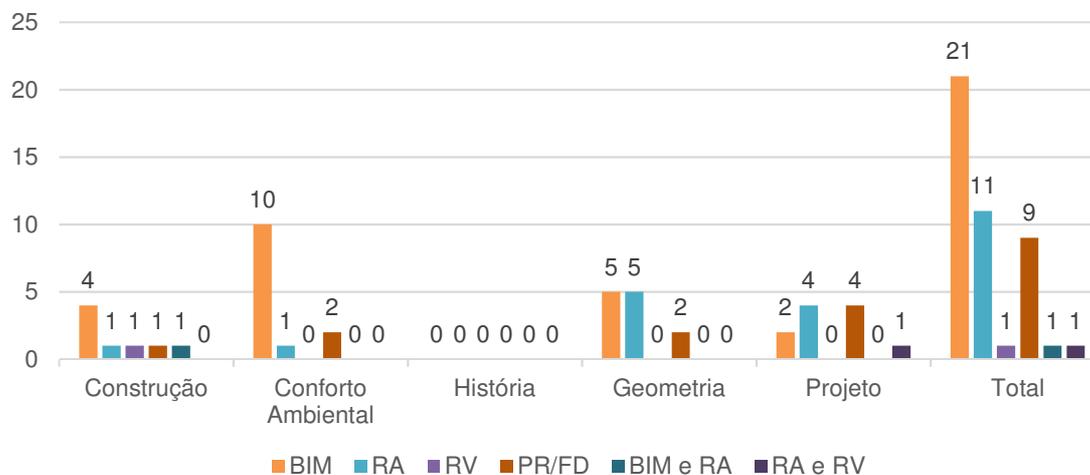


Fonte: Autor

Em relação às 44 experiências extraídas do estudo, o Gráfico 5 detalha a quantidade de experiências didáticas relacionadas à adoção das TICs para cada categoria analisada. Nota-se que a categoria “construção” apresentou ao menos uma experiência para cada tecnologia, já “conforto ambiental” contém mais experiência com BIM (10) e nenhuma com RV. Aliás, Realidade Virtual só apareceu em uma experiência didática de “construção” e uma experiência de “projeto” com uso em conjunto com RA. Isso demonstra que existe uma área de pesquisa a ser explorada e isso pode ser

comprovada por Milovanovic et al. (2017) que destacam a falta de publicações sobre usos de realidade virtual relacionado ao projeto arquitetônico e ao ensino.

Gráfico 5 – Quantidade de TICs por categoria



Fonte: Autor

Com relação às TIC mais recorrentes, em primeiro lugar está o BIM (21), seguindo de RA (11), PR/FD (9) e em último lugar RV (1), BIM e RA (1) e RA e RV (1). O destaque recebido pelo BIM talvez se deva pelo desdobramento da tendência mundial de implementação dessa plataforma na indústria da construção civil, bem como pela grande quantidade de *softwares* que a plataforma possui e o fato dela compreender cada etapa do ciclo de vida da edificação.

A respeito dos recursos tecnológicos, as 44 experiências listadas empregaram 11 recursos tecnológicos diferentes, representando distintos modos de utilizar TICs no ensino. Os 11 recursos citados nesse capítulo foram:

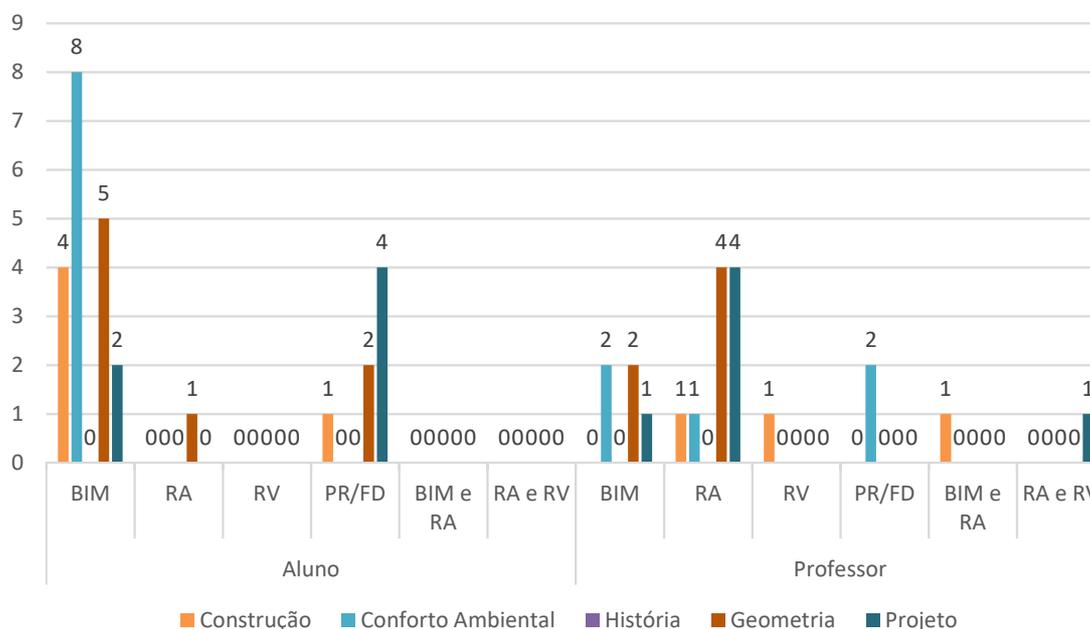
- BIM: (1) simulação do modelo – categoria: “conforto ambiental”;
- (2) visualização do modelo e do projeto – categoria: “construção”;
- (3) planejamento da execução – categoria: “construção” e “projeto”;
- (4) interação com o modelo e o projeto – categoria: “construção”, “geometria” e “projeto”;
- (5) verificação de incompatibilidades e projeto – categoria: “construção”;
- RA: (6) manipulação do modelo virtual – categoria: “geometria” e “projeto”;
- (7) visualização do modelo – categoria: “geometria”;
- (8) [RA e BIM com RA] relacionar o real com o virtual – categoria: “construção”, “conforto ambiental” e “projeto”;
- RV e RA com RV: (9) Interação com ambiente virtual – categoria: “construção” e “projeto”;
- PR e FD: (10) Antecipar decisões – categoria: “projeto”;
- (11) Testar/Estudar a forma – categoria: “construção”, “conforto ambiental”,

“geometria” e “projeto”;

As publicações citadas tanto apresentam casos em que o professor utiliza uma ferramenta para ensinar um conteúdo, como os alunos usando ferramentas para aprender conhecimentos trabalhados pelo professor. Vale destacar que o uso de *softwares* nas aulas não tem o objetivo de ensinar os alunos a mexerem nos programas, e sim de partir do produto que essas ferramentas oferecem para auxiliar a aprendizagem em sala de aula e, também, instigar os interessados a estudarem e aprofundarem seus estudos nesses *softwares*.

Assim, verificou-se nas experiências analisadas quais TICs requeriam o desenvolvimento prévio do professor para realizar uma atividade em aula e quais TICs demandavam empenho do aluno. Os resultados dessa análise encontram-se no Gráfico 6 que demonstra que experiências com BIM requerem tanto empenho dos professores quanto dos alunos. Já Realidade Aumentada e Realidade Virtual dependem de um trabalho prévio do professor. Agora, a Prototipagem Rápida e Fabricação Digital normalmente necessitam de esforço do aluno com as TICs. Vale frisar que a definição de quem dedicará mais tempo de uso da ferramenta depende do tipo de abordagem didática escolhida pelo professor, bem como o tipo de disciplina, conteúdo que será tratado e da TIC escolhida.

Gráfico 6 – Tecnologias que necessitam desenvolvimento prévio do professor e empenho do aluno.

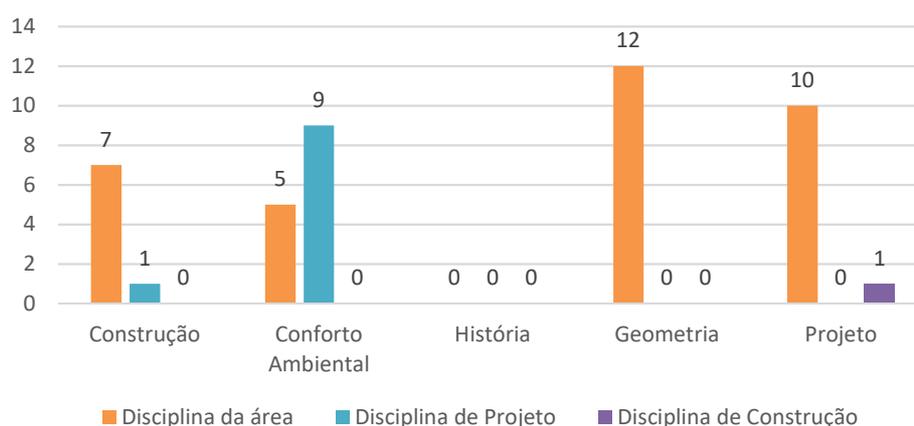


Fonte: Autor

A respeito das disciplinas que abordaram o ensino dos conteúdos de cada categoria, verifica-se que os conteúdos de “construção”, “geometria” e “projeto” foram ensinados nas disciplinas correspondentes a própria área de conhecimento (Gráfico 7).

Entretanto, grande parte das publicações que tratam do ensino de “conforto ambiental” são abordadas durante a disciplina de projeto (9), enquanto 5 experiências foram tratadas em disciplinas de conforto ambiental. Acredita-se que isso ocorra pela experimentação prática proporcionada pela atividade de projeto na aplicação de conteúdos abstratos, como os de “conforto ambiental”. Com isso, percebe-se que existe um campo a ser mais explorado que trata sobre ensino de “conforto ambiental” usando TICs na própria disciplina de conforto ambiental.

Gráfico 7 – O conteúdo de arquitetura foi ensinado em qual disciplina?



Fonte: Autor

4.7 Considerações sobre o capítulo

Resgatando os princípios de planejamento didático abordado no capítulo 1, entende-se que a adoção das ferramentas digitais no ensino de arquitetura é uma decisão a ser tomada pelo professor, uma vez que é necessário repensar o planejamento do ensino ponderando em que momento, qual conteúdo, qual TIC e com qual finalidade a tecnologia será utilizada. A intenção desse capítulo foi de mostrar experimentos didáticos com uso de TICs já explorados por docentes, ou seja, apresentar meios viáveis e testados de uso de tecnologia no ensino de arquitetura de modo a incentivar os professores a incluírem o uso de tecnologia no planejamento do ensino.

Alguns autores comentaram em suas avaliações sobre as experiências didáticas que os alunos se demonstraram motivados quando a tecnologia foi aplicada ao ensino. Isso comprova o que foi apresentado na seção 2.3.1 que fala sobre a motivação e a curiosidade causada pela tecnologia. Conforme Braga et al. (2012) citam na seção 2.3.1, a tecnologia causa fascínio nas pessoas e age como um catalisador do interesse pelos estudos.

A Revisão Sistemática de Literatura revelou que todas as TICs foram utilizadas em experiências didáticas como um meio de ensinar os conteúdos de arquitetura e

urbanismo, com exceção de “história”. Conforme dito anteriormente, apesar da categoria “história” não ter sido explorada em experiências didáticas no universo estudado, essa área do curso de arquitetura exhibe grandes potencialidades de uso de TICs que serão apontadas no capítulo 5.

Finalmente, pelo montante de publicações encontradas sobre cada TIC em cada categoria, constata-se que a utilização de TICs em certas categorias é mais evidente do que outras. Entretanto, as TICs abordadas nessa dissertação possuem potencial de serem aplicadas em todas as categorias do ensino de arquitetura e urbanismo como será evidenciado no capítulo a seguir.

Cabe acrescentar que o levantamento realizado não teve por objetivo esgotar todas as experiências didáticas adotadas em relação às ferramentas digitais, mas levantar subsídios que permitissem a comprovação do objetivo da proposta dessa pesquisa, ou seja, explorar as possibilidades oferecidas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo. Nesse sentido, admite-se a existência de outras publicações além daquelas apresentadas neste levantamento, o que não diminui a relevância dos resultados obtidos para a pesquisa proposta.

POSSIBILIDADES POUCO EXPLORADAS DE ADOÇÃO DAS TICs NO ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Este capítulo representa a etapa 4 da pesquisa que permitiu vislumbrar um panorama de possibilidades a serem utilizadas pelos professores no curso de arquitetura e urbanismo. Com isso, foram propostas formas pouco exploradas de incluir tecnologias nas práticas didáticas dos docentes.

O capítulo foi organizado em seções que equivalem às categorias definidas em 2.2.2. Sendo que houve o acréscimo de uma seção (seção 5.6) que reúne alternativas de uso das TICs em mais de uma categoria dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

O método de pesquisa utilizado para desenvolver esse capítulo foi a revisão de literatura sem meta-análise, que aborda sobre diferentes aplicações de TICs no campo da arquitetura e urbanismo. Esses artigos foram encontrados em diferentes bases de dados durante buscas que ocorreram ao longo da pesquisa de mestrado, e outras publicações foram detectadas durante a pesquisa de RSL do capítulo 4. Os textos demonstram diferentes usos das TICs que podem ser adaptados e aplicados no meio acadêmico. Entretanto, é importante destacar que essa pesquisa não esgota todas as possibilidades de integração das tecnologias nas áreas de conhecimento de arquitetura e urbanismo, visto que a autora não teve acesso a todas as experiências realizadas e, também, pelo fato da tecnologia avançar rapidamente e, dessa forma, surgirem novas oportunidades de aplicação de TICs no ensino.

Cada alternativa de uso de TIC apresentada ao longo do texto (seções 5.1 a 5.6) foi atribuída a um modo de utilizar a tecnologia, que foi chamado nessa pesquisa de **recurso tecnológico**. Certos recursos tecnológicos apresentam diferentes maneiras de serem explorados, que foram denominados nesse estudo como **'alternativas'**. Assim, a partir dos recursos tecnológicos, a seção 5.7 exhibe uma consolidação das possibilidades pouco exploradas proporcionadas pelo BIM, RA, RV, PR e FD no ensino de arquitetura e urbanismo.

5.1 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “construção”

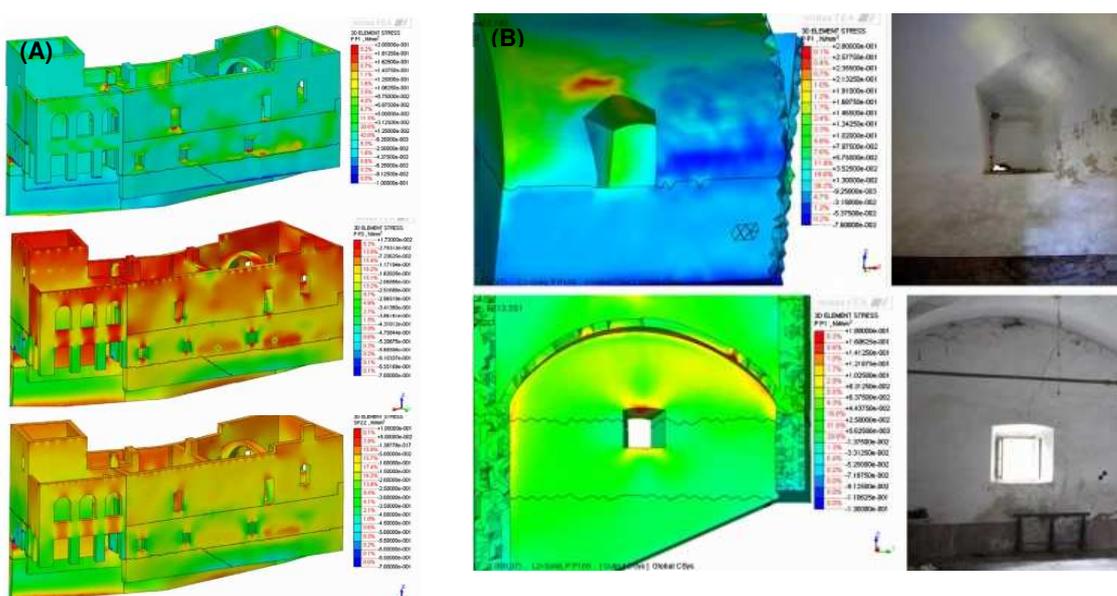
Existem possibilidades pouco exploradas no ensino de ‘tecnologia da construção’ e ‘sistemas estruturais’ por meio de TICs, conforme serão apresentadas a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Entre as Tecnologias de Informação e Comunicação ligadas à “construção”, a plataforma BIM se destaca, pois ela prevê a construção digital da edificação, ou seja, a construção virtual com informações geométricas e não geométricas da edificação que será construída, e não apenas a construção de uma maquete eletrônica (EASTMAN, 2014). Como consequência disso, é preciso ter o domínio das tecnologias construtivas e sistemas construtivos para criar um modelo BIM.

Sabendo disso, Barazzetti et al. (2015) relatam a integração de um modelo BIM com simulação estrutural. Os autores partiram de uma nuvem de pontos provenientes de escaneamento a *laser* de uma edificação histórica para criar um modelo BIM que, depois, gerou uma malha 3D FEM (*Finite Element Model*). Em seguida, os autores realizaram uma análise estrutural comparando fissuras existentes no local com a simulação, e analisaram o estresse em todo o edifício (Figura 36). Levando esse experimento para o ensino de “construção”, o professor pode demonstrar e analisar o resultado de uma simulação estrutural fazendo associação com as propriedades físicas, térmicas e mecânicas dos materiais (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018). E também consegue verificar o comportamento de uma edificação a partir do uso de diferentes sistemas estruturais, além de testar diferentes traços de concreto e verificar sua resistência à compressão e tração e, da mesma forma, analisar a escolha de diferentes tipos de fundação em relação às características do solo. Assim, para essa dissertação, o recurso tecnológico e a alternativa proporcionados por essa possibilidade receberam o nome de **simulação do modelo** e simulação estrutural, respectivamente.

Figura 36 - (A) análise do estresse em todo o edifício; (B) análise comparando fissuras existentes com fissuras do local.



Fonte: Barazzetti et al. (2015)

Outra possibilidade proporcionada pelo BIM é o uso de aplicativos BIMx ou A360 que podem ser utilizados em sala de aula para viabilizar a compreensão de projetos de fôrma, armação e instalações prediais devido a sua facilidade de migração de uma planta baixa ou corte para o modelo 3D (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018). O recurso tecnológico dessa possibilidade se chama **visualização do modelo e do projeto**.

Ademais, por meio de *softwares* BIM de planejamento 4D e 5D, o docente pode ensinar sobre logística do canteiro de obras, composição do orçamento de uma obra, planejamento e controle de obras. Além disso, vídeos produzidos nesses programas também podem ser utilizados para explicar as etapas de montagem e a evolução do orçamento da obra ao longo do tempo (LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018). Recurso tecnológico: **planejamento da execução do projeto e obra**. Alternativas: logística do canteiro de obras, etapas de construção, controle de custo e controle de prazo.

Realidade Aumentada (RA)

Também existem alternativas pouco exploradas do uso da realidade aumentada no ensino de disciplinas ligadas à categoria “construção”. Assis, Brochardt e Andrade (2016, p. 664-665) descrevem sobre três soluções para uso de RA em canteiro de obras, são elas: (a) utilização de marcadores impressos; (b) *markless tracking* – tecnologia que dispensa marcadores, o usuário posiciona o “dispositivo de modo a coincidir a geometria virtual com a geometria do espaço físico, utilizando essa informação inicial para permitir a posterior movimentação do modelo” -; e (c) *Markless Augmented Reality (MAR)* – sistema que também dispensa marcadores, uma vez que lê “a geometria do modelo através do processamento de imagens capturadas por uma câmera simples”, “qualquer parte do ambiente real pode ser usada como marcador, a fim de localizar o modelo”. Por meio dessas soluções de uso de RA, o professor de “construção” pode realizar uma visita ao canteiro de obras com apoio de RA ou até mesmo usar RA em uma construção finalizada – por exemplo, o próprio edifício da universidade - para mostrar a comunicação entre as instalações prediais e sua relação e posicionamento em relação a arquitetura, estrutura, exaustão, etc. Com isso, os alunos visualizam o que está por trás das paredes o que possibilita a compreensão de como diferentes instalações se comunicam e como podem conflitar durante o desenvolvimento de projeto. Além disso, o aplicativo de RA pode exibir informações dos materiais que foram utilizados na construção, pode destacar a estrutura do edifício, bem como as cargas e esforços internos da estrutura. No caso da visita ser feita em um canteiro de obras também existe a opção de lecionar sobre organização de obras e canteiros. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

BIM e RA

Devido ao avanço da tecnologia, o cenário descrito acima torna-se cada vez mais palpável com a criação de tecnologias como o capacete chamado *DAQRI Smart Helmet*. Este capacete refere-se a um sistema de RA que acessa o modelo BIM e instantaneamente sobrepõe o modelo à construção real em obra ou finalizada, como se o capacete permitisse uma visão raio-x da construção (MORTICE, 2017).

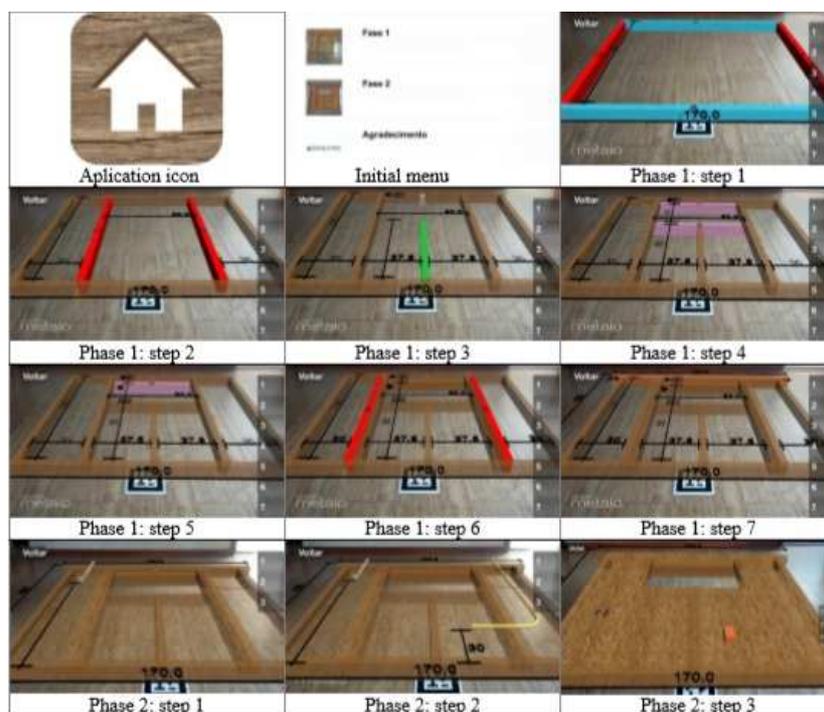
Outra alternativa ao ensino de “construção” é o uso associado de BIM com realidade aumentada. Cuperschmid, Grachet e Fabrício (2016) desenvolveram um aplicativo de RA chamado “montAR” em conjunto com instruções em áudio para funcionar como um tutorial na montagem de uma parede pré-fabricada em *wood-frame* para instalação de cada etapa da construção (Figura 37). O modelo tridimensional usado no aplicativo foi um modelo BIM e as etapas do processo de montagem foram definidas no recurso “*Phasing*” do Revit. Ademais, as dimensões e o quantitativo das peças da parede foram extraídas desse modelo. Essa experiência pode ser executada no ensino de “construção”. Após uma aula teórica, os professores de “construção” podem utilizar a realidade aumentada para realizar ensaios em laboratório onde os alunos possam vivenciar a construção de um trecho de uma edificação. O ensaio pode ser realizado com materiais reais de uma construção como concreto e tijolo, ou não, de modo que os alunos não só aprendam sobre técnicas e sistemas construtivos, mas também sobre materiais de construção e resistência dos materiais. A mesma experiência serve para estudar instalações e equipamentos prediais, sistemas estruturais e estabilidade das construções de maneira que a realidade aumentada guiará a montagem da construção de forma didática, contribuindo para a apropriação dos conteúdos ensinados, sem falar no envolvimento que a tecnologia gera nos alunos e pode proporcionar à essa atividade. Recurso tecnológico: **tutorial para ensaios em laboratório.**

Realidade Virtual (RV)

Entre as alternativas de aplicação de realidade virtual, Bryson (1991-93 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 24) expressa que ambientes virtuais permitem uma interação com interfaces 3D para “investigação de fenômenos [...] por meio de modelos gráficos detalhados e interativos”. Partindo dessa proposta e migrando para campo acadêmico, ambientes virtuais podem ser gerados para visualizar as propriedades dos materiais de construção, fazendo os alunos perceberem as diferenças na resistência desses materiais. Outra possibilidade seria a visualização de forças atuantes nos sistemas estruturais de uma edificação, objetivando a compreensão do funcionamento das estruturas e proporcionando o entendimento sobre concepção de projetos estruturais, estabilidade das construções e auxiliando na escolha das

fundações mais adequadas para cada tipo de solo e edificação. Do mesmo modo, também é possível criar para uma mesma edificação diferentes sistemas construtivos a fim de que os alunos avaliem qual sistema seria o mais adequado para o cenário criado e que tivesse menos custo na execução. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais**.

Figura 37 - Aplicativo "montAR": ícone, menu inicial e os passos para montar a parede



Fonte: Cuperschmid, Grachet e Fabrício (2016)

Outro exemplo de uso de RV foi descrita por Netto, Machado e Oliveira (2002) ao mencionar dois autores, Bajura (1992) e Hand (1994), que abordam sobre a utilização dessa tecnologia em equipamento de ultrassom que combinam imagens tridimensionais dos órgãos internos com imagens obtidas do ultrassom convencional. Levando esse experimento para o campo da arquitetura e urbanismo, é possível criar um ambiente virtual onde o professor use a RV como uma atividade lúdica para os alunos aprenderem sobre processos construtivos em um cenário que simule o local de construção (LEAL; SALGADO, SILVOSO, 2018) mesclando imagens tridimensionais virtuais com imagens reais de uma edificação. Essa experiência imersiva permite a avaliação da qualidade das soluções construtivas adotadas em um cenário fictício (LEAL; SALGADO, SILVOSO, 2018). Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais**.

Netto, Machado e Oliveira (2002, p. 26) citam outros dois autores, Dupont (1994) e Vince (1995), que descrevem o uso de RV pela empresa automobilística Volvo que possui "ambiente virtual para simular colisões dos seus veículos com diversas barreiras

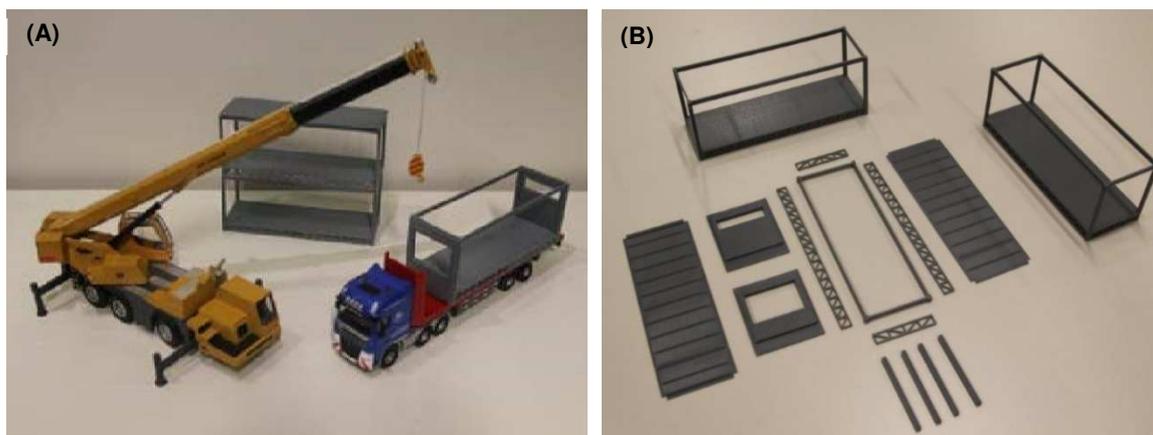
e obstáculos, e posteriormente fazer uma análise dos sistemas de proteção contra este tipo de situação”. Seguindo este raciocínio, o professor pode gerar simulações para avaliar o comportamento de edificações sob efeito de terremotos, ventos fortes, enchentes e outras situações adversas, além de testar a forma que a construção se comporta em caso de demolição e, em seguida, fazer alterações na estrutura prevenindo sua demolição. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais**.

Adicionalmente, Grilo et al. (2001, s.p.) acrescentam que ambientes imersivos com “percursos interativos permitem um nível de compreensão do projeto superior ao das representações bidimensionais ou dos modelos tridimensionais”. Dessa forma, os projetos de instalações prediais e de estrutura poderiam ser melhor compreendidos pelos alunos se o professor realizasse uma experiência com RV combinando a visualização tridimensional dos componentes da edificação com a visualização bidimensional utilizada em planta e/ou corte para, assim, entenderem o que os desenhos 2D representam na edificação construída. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto**.

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outra possibilidade de ensino de “construção” refere-se ao uso de prototipagem rápida. Carvalho et al. (2017) elaboraram uma proposta de planejamento de obra para construções modulares fazendo associação entre construção modular, BIM 4D e prototipagem rápida. Com relação a PR, foram criados módulos que compõem uma edificação na escala 1/50, além de caminhões e guindastes na mesma escala para ajudar no entendimento do transporte, içamento e montagem da construção (Figura 38). Com resultados do experimento, os autores (p. 12) relataram que “a prototipagem rápida se mostrou como um recurso muito útil para experimentações da montagem na construção modular, permitindo reflexões, discussões e ações cognitivas que contribuíram para o desenvolvimento do planejamento pela equipe”. Usando essa perspectiva, a PR pode ser utilizada para a compreensão de técnicas e sistemas construtivos modular e/ou convencional variando de acordo com os protótipos que forem desenvolvidos para serem trabalhados em aula. Do mesmo modo, outros protótipos como fundações, diferentes sistemas estruturais, instalações e equipamentos prediais podem ser desenvolvidos para auxiliar na apropriação de conteúdos ensinados. Também é possível criar protótipos para estudar a organização de obras e canteiros bem como a implantação de infraestrutura urbana. Ou seja, a prototipagem rápida oferece oportunidades de o aluno visualizar, manipular, compreender e se apropriar de diferentes conteúdos de “construção”. Recurso tecnológico: **antecipar decisões**.

Figura 38 (A) Fluxo de transporte dos módulos; (B) Prototipagem rápida da estrutura de um módulo na escala 1:50



Fonte: Carvalho et al. (2017)

Seguindo o mesmo raciocínio, Leal, Salgado e Silvano (2018) acrescentam que o protótipo também pode ser usado para facilitar a compreensão das etapas do processo construtivo, como por exemplo, demonstrar como ocorre a montagem da armação e da fôrma em uma obra. Adicionalmente, em uma experiência de canteiro experimental, os alunos podem imprimir o protótipo do projeto que estão desenvolvendo a fim de testar a montagem das peças antes de executá-lo em escala real. Recurso tecnológico: **antecipar decisões.**

Rodrigues, Pinto, Rodrigues (2010, p. 83) descrevem a metodologia de ensino de sistemas estruturais, na disciplina 'Modelagem dos Sistemas Estruturais', na FAU-UFRJ no ano de 2010. Uma das atividades realizadas trata do desenvolvimento de projetos de sistemas estruturais e construção de modelos físicos de modo que os alunos possam interagir e observar esses modelos (Figura 39). O objetivo dessa atividade é adquirir "sensibilidade ao estudo de equilíbrio, tensões e deformações causadas por esforços de tração, compressão, flexão e torção, associadas aos elementos que compõem o seu projeto". Outra forma de realizar esse experimento seria o uso de máquinas CNC para criar protótipos com materiais rígidos e flexíveis para o estudo do comportamento da estrutura. Esses protótipos tanto poderiam ser confeccionados pelo professor para ser utilizado como um modelo didático durante a aula, como pelos próprios alunos de modo a criarem diferentes modelos estruturais. Recurso tecnológico: **antecipar decisões.**

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de "construção" serão apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

Figura 39 - Estudantes manipulando modelos



Fonte: Rodrigues, Pinto, Rodrigues (2010)

5.2 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “conforto ambiental”

Essa seção apresenta formas pouco exploradas de incluir tecnologias nas práticas didáticas dos docentes que lecionam conteúdos da categoria “conforto ambiental”.

Building Information Modeling (BIM)

“Conforto ambiental” é uma das áreas exploradas pelos *softwares* de análise de desempenho energético e, também, por *softwares* de simulação da plataforma BIM. Sobre este último, Eastman et al. (2014) afirmam que a conexão entre o modelo BIM e ferramentas de simulação computacional permitem uma avaliação do desempenho da construção durante as fases iniciais do projeto, o que não é possível com ferramentas 2D tradicionais que demandam uma análise separada ao final do processo de projeto, reduzindo as oportunidades de modificações e, conseqüentemente, de eficiência da edificação. Os mesmos autores (p. 18) acrescentam que “a capacidade de vincular o modelo da construção a vários tipos de ferramentas de análise proporciona diversas oportunidades para melhorar a qualidade da construção”.

Sobre os *softwares* de simulação, Wu e Clayton (2013) relatam que esses programas geralmente utilizam apenas informações geométricas do modelo, desconsiderando as oportunidades trazidas pelas informações não geométricas incorporadas nos modelos BIM. Com base nisso, esses autores criaram um protótipo de *software* acústico que utiliza como base dados extraídos de um modelo BIM. Como resultado, o protótipo demonstrou ser capaz de extrair os dados necessários do modelo do Revit (materiais de acabamento e a absorção em várias frequências, fonte de som, público e geometria), analisar a frequência da fonte sonora e obter o resultado da

simulação em poucos minutos. Além disso, atualizações feitas no Revit foram ressimuladas imediatamente. Com base nesse protótipo, a plataforma BIM pode ser usada para auxiliar o professor na explicação do conteúdo a partir de modelos tridimensionais com simulações dos efeitos sonoros em diferentes propostas de implantação para o mesmo projeto. Permitindo, dessa forma, uma melhor percepção do aluno em relação ao impacto que suas escolhas de projeto - implantação, setorização, materiais, etc. – irão interferir na percepção do usuário. A utilização em sala de aula de um protótipo semelhante ao dos autores – que extrai informações geométricas e não geométricas de um modelo BIM - permite que os alunos visualizem e compreendam com mais facilidade conteúdos abstratos de acústica como: entendimento de reverberação; frequência; fonte de som; e compreender os efeitos que diferentes geometrias e materiais de construção causam na acústica do ambiente. Dessa forma, tornando-se mais claro e prático a aplicação de conhecimentos acústicos no cotidiano de projeto. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**.

BIM e Realidade Aumentada (RA)

Outra possibilidade no ensino de “conforto ambiental” é a utilização da realidade aumentada. Essa TIC pode ser utilizada para auxílio no processo de projeto conforme foi demonstrado por Paula (2015). A autora enumerou diferentes programas gratuitos para celular, *smartphone*, *tablet* e *notebook* que contribuem para análise de conforto térmico e luminoso e podem auxiliar os alunos na disciplina de conforto ambiental e projeto. Entre os programas relacionados ao objetivo desta pesquisa se destacaram Sun Surveyor e Sun Seeker para análise do conforto térmico utilizando RA; e SketchUp e FormIt para conforto luminoso utilizando a plataforma BIM. Segundo a mesma autora, o programa Sun Surveyor e Sun Seeker registra o posicionamento do Sol com uma bússola 3D e mapa interativo, e Sun Surveyor também mostra o posicionamento da Lua. O SketchUp permite a “configuração da posição do sol, visualização de efeitos de luz e sombra, importação de imagens de satélite e a instalação de plugins”, como o Sun Tools, que adiciona “informações sobre a trajetória do sol ao longo do ano, facilitando a análise geométrica da insolação” (p. 53). Já o FormIt manipula e modela formas geométricas pela tecnologia *touchscreen* e permite importar imagens de satélites e explorar efeitos do sol com a ferramenta de sombra (PAULA, 2015). Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual (RA)** e **simulação do modelo (BIM)**.

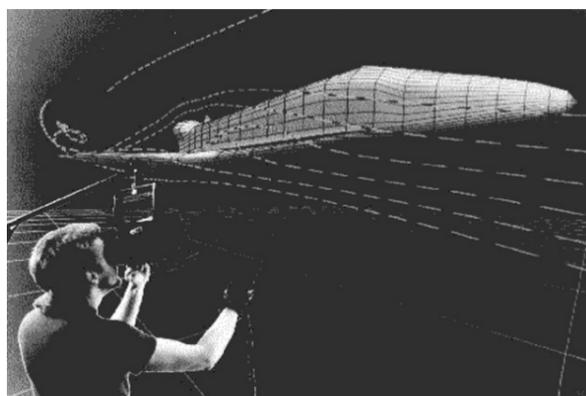
O aplicativo Skope desenvolvido por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) e apresentado na seção 4.1 pode ser usado tanto para o ensino dos conteúdos de “construção” como para “conforto ambiental”. Isto se deve pela possibilidade do aplicativo permitir interagir com parâmetros como orientação, entorno, direção de ventos

predominantes, sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação possibilitando, assim, seu uso em disciplinas que tratam sobre “conforto ambiental”. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual.**

Realidade Virtual (RV)

Sobre realidade virtual, Bryson (1993 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 24) aborda sobre o projeto desenvolvido pela *NASA Ames Research Center* que representou um túnel de vento em um ambiente virtual “com todas as características técnicas de um modelo similar real” permitindo “a visualização e a simulação 3D de fluxos de fluidos instáveis, a partir valores calculados de velocidade, energia e pressão” (Figura 40). De modo semelhante, esse tipo de experimento pode ser desenvolvido com alunos de “conforto ambiental”, proporcionando uma melhor visualização de ventos dominantes em relação a uma edificação, melhorando a percepção de ondas sonoras e seus rebatimentos em diferentes materiais, visualizando a relação entre a absorção de calor por alguns materiais, além de facilitar o entendimento da interferência dos raios solares dentro da edificação em diferentes épocas do ano. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais.**

Figura 40 - Túnel de vento virtual desenvolvido pela NASA.



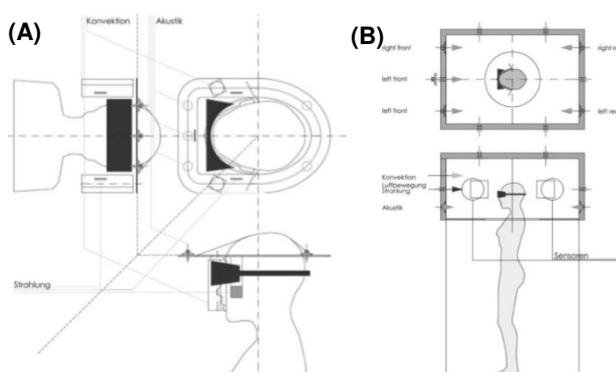
Fonte: Ressler (1997 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002)

Por meio de simulação em RV, de acordo com Grilo et al. (2001), o usuário consegue recriar a iluminação solar em diferentes posições e, com isso, gerar uma animação em tempo real para analisar os efeitos da insolação e das sombras na construção. Desse modo, simulação em ambientes imersivos podem ser utilizadas para o ensino de condições climáticas, lumínicas e energéticas. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais.**

Outro exemplo do uso de RV foi exemplificado por Seiler, Koch e Both (2015) que desenvolveram dois experimentos imersivos que combinam efeitos visuais, acústicos, olfativos, climáticos e híbridos como objetivo de demonstrar que mudanças

intensas do ambiente podem ser detectadas por outros sensitivos humanos além da visão. O primeiro experimento consiste em vidros de vídeo avançados com transmissores auditivos, de calor, de frio e de movimento de ar; e no teste feito o usuário se localizada em uma sala virtual com várias janelas e conforme elas se abriam a pessoa era exposta a diferentes influências ambientais e ruídos (movimento do ar de diferentes direções, intenso calor radiante, mudança da temperatura da superfície, movimento intenso do ar e mudança de umidade) (Figura 41). Já o segundo é uma sala de projeção em escala 1/5 composta por paredes perfuradas para ventilação, seis aberturas para montagem de diferentes tipos de transmissores além de transmissores auditivos. Partindo dessa proposta, esse modo de interação sensorial poderia ser utiliza em sala de aula para demonstrar conteúdos que abordem sobre avaliação dos impactos no meio ambiente, condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas. Contudo, para que os alunos experimentem esse tipo de interação é necessário a construção de um protótipo igual ou semelhante ao proposto pelos autores. Recurso tecnológico: **ensaios em ambientes virtuais.**

Figura 41 - (A) Desenho do projeto dos vidros de vídeo avançados; (B) Desenho do projeto da sala de projeção.



Fonte: Seiler, Koch e Both (2015, p. 82)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outra alternativa para o ensino de “conforto ambiental” utilizando TICs é o uso de prototipagem rápida. Segundo Braida et al. (2014, p. 889), maquetes físicas (ou analógicas) podem ser utilizadas em análises de conforto ambiental e ergonomia desde a fase de concepção até a fase de avaliação pós-ocupação. E complementam que na análise de conforto ambiental é possível obter dados quantitativos através de sensores instalados dentro do modelo e, também, dados qualitativos por meio de “fotômetros que registram fotos da posição dos raios solares e os problemas de reflexão e ofuscamento durante todas as estações do ano” ou pelo heliodon (BRAIDA et al., 2014, p. 889) para

realizar análises da posição do sol em relação a edificação. Esse tipo de análise também pode ser feito em maquetes geradas a partir de prototipagem rápida para serem utilizadas em sala de aula, que além de proporcionar maior precisão do modelo físico, também produz modelos em menos tempo. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma.**

Os mesmos autores compararam medições realizadas em maquetes físicas em laboratório de conforto ambiental com os resultados obtidos em modelos virtuais feitos no programa Google SketchUp. Apesar dos autores (p. 891) observarem que maquetes virtuais são produzidas com mais agilidade do que maquetes físicas, eles defendem que a produção de modelos digitais “não propicia a manipulação tátil e o mesmo processo cognitivo alcançado com as experimentações envolvendo modelos físicos.”

Shimomura, Frota e Celani (2010) realizaram estudos de ventilação urbana por meio de modelos físicos em túnel de vento e eles (s.p.) apontam que “são raros os relatos de execução de maquetes para experimentos em túnel de vento com técnicas de prototipagem rápida”, apesar dessa técnica ser comumente empregada na produção de modelos nos Estados Unidos. Da mesma forma, Pupo (2009) relata que a empresa Rowan Williams Davies & Irwin (RWDI) também utiliza maquetes confeccionadas a partir de prototipagem rápida para testes em túnel de vento. A maquete sai da máquina com furos dos pontos de pressão (*pressure taps*) precisamente posicionados para os testes. E essa tecnologia de PR poupa “de ter que, manualmente, furar e colar cada sensor, tarefa quase impossível em edifícios com as proporções” que produzem. Um dos engenheiros especialistas da empresa diz que “com a automação das técnicas de modelagem e a fusão das duas tecnologias, de *software* e de prototipagem rápida, a empresa tem aumentado a eficiência em aproximadamente 15% em tempo, muito menor que o usual.” (PUPO, 2009, p. 139). Logo, a partir do relato desses autores (SHIMOMURA; FROTA; CELANI, 2010; PUPO, 2009), acredita-se que a conciliação entre a utilização de protótipos e testes em túnel de vento usando sensores poderia trazer proveito para o ensino sobre o impacto da ventilação no ambiente urbano e em uma edificação. Recurso tecnológico: **testar a forma.**

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “conforto ambiental” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.3 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “história”

A categoria “história” é uma área que exhibe grandes potencialidades de uso de TICs no ensino, contudo é um campo ainda pouco explorado pelos docentes, segundo

o universo pesquisado na RSL realizada no capítulo anterior. A seguir são apresentadas algumas possibilidades de uso de BIM, RA, RV, PR e FD no ensino de “história”.

Building Information Modeling (BIM)

A modelagem da Informação da Construção é uma das tecnologias que pode ser utilizada no ensino dos conteúdos de “história”. Em sua dissertação, Canuto (2017) reconstruiu digitalmente o edifício Palácio Gustavo Capanema no Rio de Janeiro por meio do *software* Archicad criando um modelo BIM com base no conceito HBIM. Como forma de preservação da memória do edifício, a autora disponibilizou o modelo gratuitamente pelo aplicativo BIMx que pode ser baixado no *tablet* ou *smartphone*. Este modelo pode ser usado como uma alternativa para o ensino de “história” a partir de um passeio virtual pelo modelo 3D e pelo projeto, de modo que os alunos revivam o processo de concepção da obra, realizem o estudo e análise das soluções modernistas adotadas na construção, bem como façam estudos de possíveis soluções de preservação, conservação e reutilização da edificação. Com isso, os alunos passam a entender o espaço construído de uma forma que não está disponível nos livros didáticos. Essa possibilidade de uso do BIM no ensino de “história” não se restringe a esse modelo do Palácio Gustavo Capanema, uma vez que a mesma ideia pode ser aplicada a outras construções e modelos BIM. E vale destacar que outros modelos BIM podem ser criados tanto visando uma aplicação acadêmica como objetivando a preservação digital do patrimônio histórico. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

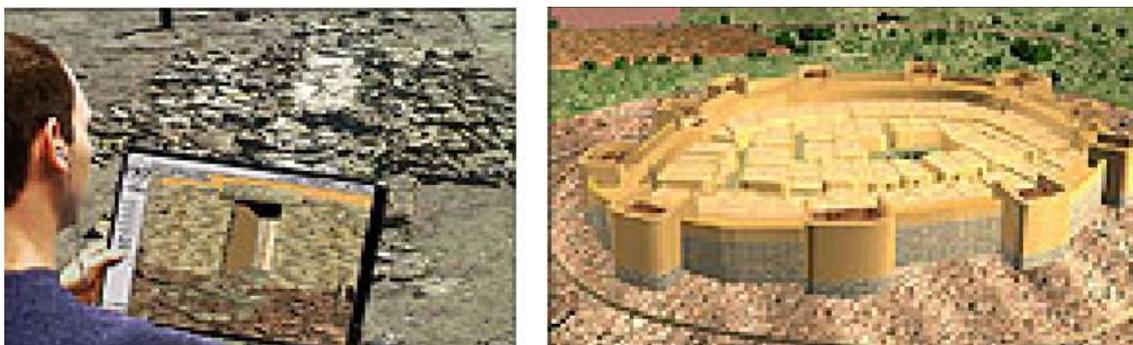
Realidade Aumentada (RA)

Em relação ao ensino de “história”, é possível usar realidade aumentada em uma visita guiada com *tablet* ou *smartphone* onde o aluno pode comparar a ruína existente com construções de outras épocas (Figura 42). Além disso, informações adicionais - como vídeos, textos, modelos 3D - podem ser sobrepostas ao modelo virtual esclarecendo o que está sendo visto pelo *tablet* (AMIM, 2007). Segundo o mesmo autor (p. 92), esse mesmo uso também “pode servir de base para projetos na área estudada”. Adicionalmente, a RA não fica restrita a visualização de uma edificação, ela também pode ser utilizada para visualizar centros urbanos e paisagísticos, bem como interagir com pinturas e esculturas. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Além da alternativa apresentada anteriormente, a realidade aumentada também pode ser empregada no ensino por meio de marcadores ou *QR codes* de forma que os alunos podem dar zoom e manipular o modelo tridimensional não apenas quando tiverem na sala de aula, mas também em casa ou na rua (Figura 43). Dessa maneira, os estudantes podem compreender o espaço construído e a história associada à

edificação, além de ser uma forma dinâmica e de baixo custo de implantação (RIMKUS; GALVÃO, 2013). Cada marcador pode representar uma época da construção ou apresentar o espaço interno, fachadas e entorno. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual**.

Figura 42 - Modelo digital de reconstituição de uma ruína.



Fonte: site da GRIHO (2001 apud AMIM, 2007, p.92)

Figura 43 - Realidade aumentada por meio de marcador.

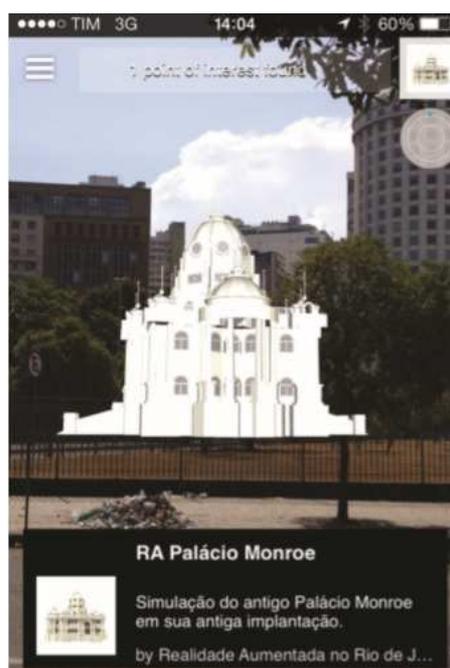


Fonte: Rimkus e Galvão (2013)

Uma experiência apresentada por Medeiros e Paraizo (2015) diz respeito ao uso de RA para visualizar uma edificação de valor histórico, que foi demolida, no local que esteve construída. O caso apresentado pelos autores foi do Palácio Monroe, Rio de Janeiro, e as ferramentas utilizadas de acesso gratuito e sem necessidade de conhecimento de programação foram *FeedGeorge Augmented Reality Plug-in* e aplicativo Layar. Os autores georreferenciaram o modelo de modo que o usuário de posse de um *smartphone* ou *tablet* consegue visualizar o palácio no local que existiu desde que se mantenha uma distância máxima de 500m do centro de onde estaria o edifício (Figura 44). Por meio dessa alternativa, os professores poderiam realizar uma aula caminhando pela cidade visualizando, estudando e compreendendo construções históricas que não existem mais. Além disso, também é possível visualizar a configuração urbana de outras épocas e comparar com a atual. Os autores (p. 174) destacam que para esse caso de uso de RA no espaço urbano “não existe a mesma

liberdade para se escolher pontos de vista como em um ambiente completamente virtual; e que, além disso, a quantidade de elementos no espaço urbano atrapalha a visualização” do modelo. E continua acrescentando que “estas limitações, no entanto, são fruto da própria presença do observador na cidade, acrescentando à percepção do objeto os diversos matizes e nuances do espaço urbano real”. Assim, essa forma de uso de RA se configura como outra alternativa de uso de tecnologia no ensino dos conteúdos de “história”. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Figura 44 - Visualização do Palácio Monroe em realidade aumentada a partir da Rua Mestre Valentim.

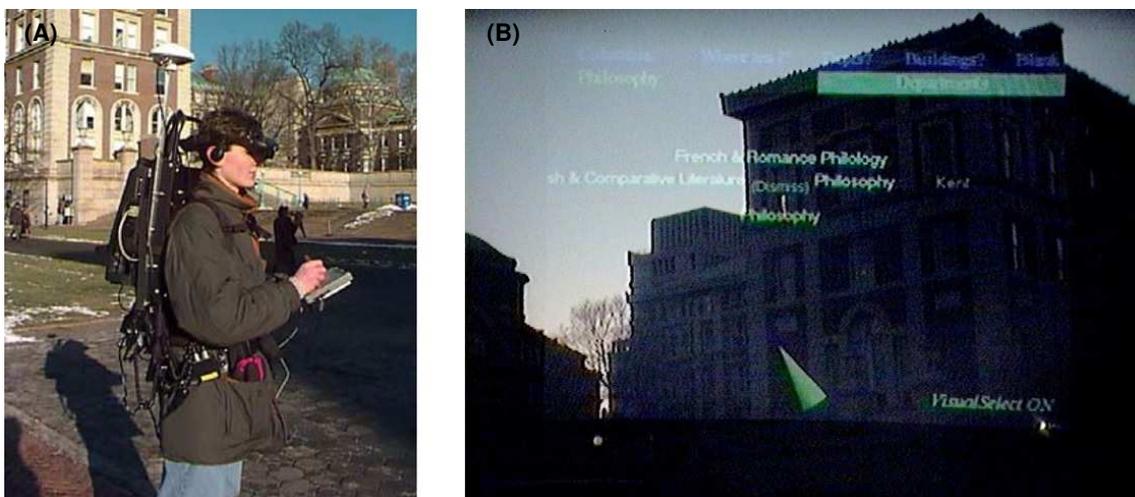


Fonte: Medeiros e Paraizo (2015)

Outra possibilidade de uso de RA foi descrita por Feiner et al. (2003 apud AMIM, 2007). Os autores tratam do uso de RA como um sistema de informação ajudando o usuário a buscar lugares, obter informações sobre uma edificação de seu interesse e sobre a história do local. O experimento foi colocado em prática com a associação de um computador, internet móvel, videocapacete e GPS (Figura 45). Em 2018, esses equipamentos poderiam ser substituídos por um *smartphone* ou *tablet* que condensam todas essas tecnologias em um único aparelho pequeno e de fácil transporte e manipulação. Com relação ao ensino de “história”, esse experimento pode ser utilizado em uma visita a um local de importância histórica onde os alunos conseguiriam explorar a cidade e as edificações por meio de um aplicativo de RA. Esse modo de uso de RA contribui não apenas para o ensino de teoria e história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo, mas também para o aprendizado sobre soluções tecnológicas para a

preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Figura 45 - (A) Usuário com o sistema de RA; (B) visão aumentada com informações sobrepondo a edificação.



Fonte: http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/thesis/anish/thesis_report.htm (apud AMIM, 2007, p. 91)

Realidade Virtual (RV)

A realidade virtual também é uma alternativa de uso de TIC no ensino dos conteúdos de “história”. Moura (2017) utilizou a realidade virtual para reconstruir virtualmente um bem patrimonial tombado (Palacete *Fellet* em Juiz de Fora, MG) que em 2017 encontra-se em ruína. Na experiência imersiva, a autora permite que o usuário interaja e circule livremente pela edificação virtual escolhendo para onde quer olhar e se deslocar. Do mesmo modo, a RV pode ser utilizada no ensino dos conteúdos de “história” a partir da análise e visita de um bem tombado antes de sua demolição, permitindo que o aluno experimente os ambientes da edificação a partir da interação com o espaço e com autonomia ou não de se movimentar virtualmente pela edificação. Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

Seguindo o mesmo raciocínio, Eliseo et al. (2009) discutiram uma metodologia que visa a preservação digital do patrimônio por meio de modelagem computacional. Contudo, as ideias dos autores podem ser aproveitadas para o ensino de “história”. Dessa forma, a realidade virtual pode ser empregada no ensino através da “navegação virtual de espaços modelados tridimensionalmente” com “acesso às informações adicionais relativas aos espaços e objetos, usando uma linha do tempo”. Isto permite “a navegação nos modelos de acordo com a cronologia do edifício, identificando o período e suas características, inserindo assim o objeto num contexto espacial-temporal” (ELISEO et al., 2009, p. 172). Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

Outra maneira de utilizar a RV é através da CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*), espaço que possui telas onde são projetadas imagens em três dimensões. Com o uso de joystick e óculos de realidade virtual com sensor de presença, os usuários conseguem visualizar, caminhar e interagir com o ambiente 3D. A Figura 46 mostra um exemplo de CAVE. No Rio de Janeiro, existem CAVEs desenvolvidas por laboratórios ligados ao curso de engenharia na UFRJ e na PUC-Rio, entretanto, o curso de arquitetura poderia se beneficiar desses equipamentos na medida em que os alunos poderiam participar de uma experiência imersiva, por exemplo, durante o ensino de “história”. Desse modo, a aula pode acontecer dentro da CAVE onde são projetadas edificações históricas, cidades, pinturas e esculturas proporcionando aos alunos uma experiência imersiva. Nessa experiência, os estudantes presenciariam o que o professor está explicando, sem a necessidade de imaginar como seria aquele local, edificação ou arte. Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

Figura 46 - CAVE construída pelo Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE) da COPPE UFRJ localizada na Ilha do Fundão.



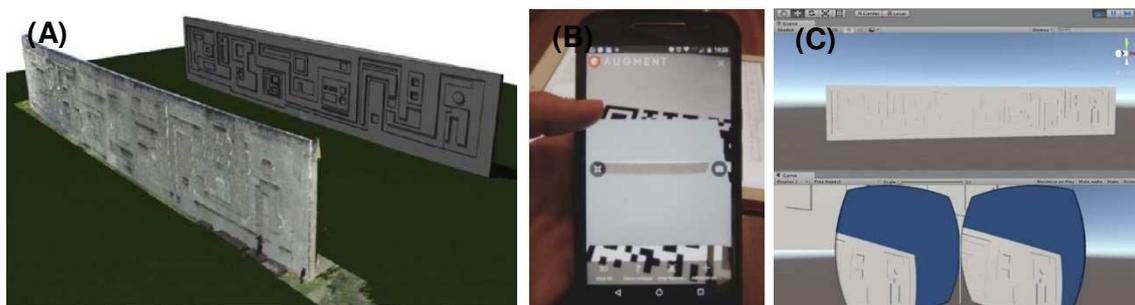
Fonte: https://www.facebook.com/pg/grvalamce/photos/?ref=page_internal

BIM, RA e RV

Canuto, Moura e Salgado (2016) apresentaram maneiras de utilizar BIM, RA e RV na preservação do patrimônio histórico que podem ser replicadas para o ensino de “história”. A partir do escaneamento a *laser* e fotogrametria do painel da FAU-UFRJ, do levantamento CAD 2D e da busca pela documentação existente desse painel, as autoras tiveram acesso a uma nuvem de pontos que foi exportada para o *software* BIM Archicad e permitiu a criação de um modelo BIM fidedigno ao painel construído, com desvio máximo de 20mm (Figura 47). E, então, foram feitos outros experimentos com este modelo BIM utilizando realidade aumentada e realidade virtual. Com relação a RA,

foi utilizado o aplicativo Augment que acessa o modelo por meio de um *QR Code* permitindo, segundo as autoras (p. 261), “visualização e manipulação da modelagem *in loco*”. Já a RV foi criada com o programa Unity 3D e possibilitou a vivência do espaço modelado. Em suma, as autoras trataram de diferentes formas de explorar e visualizar um monumento a partir do uso integrado de BIM com RA e RV. Da mesma forma, essas diferentes maneiras de visualização podem ser exploradas pelo professor no ensino dos conteúdos de “história”. Os professores tanto podem utilizar um edifício histórico como um todo para lecionar sobre a história da arquitetura, como utilizar a modelagem de centros urbanos para explicar a história das cidades, como por exemplo, o plano de Cerdá para Barcelona, bem como apenas usar a modelagem de trechos de um edifício para ensinar sobre os diferentes estilos históricos das construções. Complementarmente, o modelo BIM pode ser utilizado como forma de apresentação e estudo de construções, já para se beneficiar da RA ou RV os modelos tridimensionais podem ser BIM ou não. Recurso tecnológico: **manipulação do modelo virtual** (BIM e RA) e **passeio virtual** (BIM e RV).

Figura 47 - (A) Modelo do painel FAU-UFRJ, em nuvem de pontos e BIM; (B) RA utilizando o aplicativo Augment; (C) Modelagem inserida no motor de jogos e programada para visualização em óculos de RV.



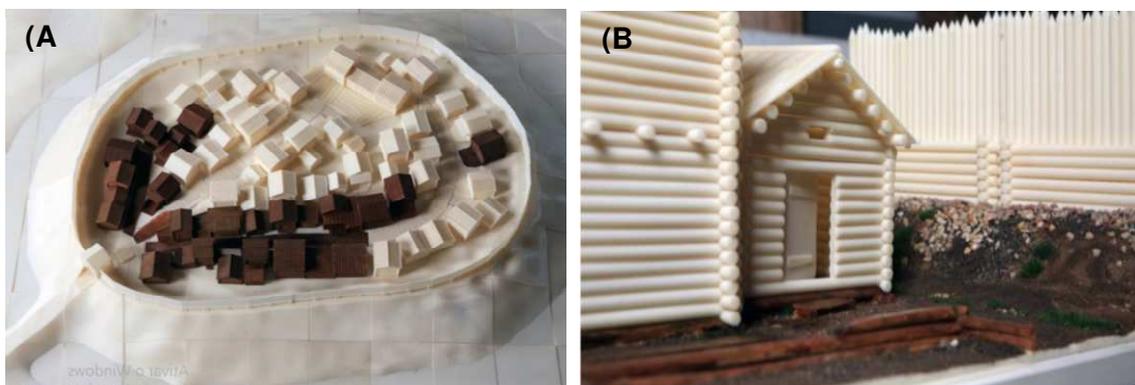
Fonte: Canuto, Moura e Salgado (2016)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Outro uso de TIC no ensino dos conteúdos de “história” é proporcionada pela prototipagem rápida. Em seu estudo, Kowal et al. (2015) desenvolveram a reconstrução virtual do complexo medieval de assentamentos de madeira em Pultusk, Polônia, entre os séculos XIII-XIV com a ajuda de arqueólogos. Além dos modelos virtuais, os autores imprimiram em 3D o modelo urbano e arquitetônico do complexo para realizarem estudos (Figura 48). Tais protótipos além de promoverem uma forma de conservação do patrimônio cultural, também se tornam um meio de divulgação do conhecimento. Assim, protótipos de construções antigas podem ser utilizados no ensino de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo como forma de estudar a tipologia arquitetônica das construções, bem como compreender melhor a morfologia urbana e

sua evolução ao longo do tempo. Adicionalmente, podem ser feitos estudos sobre práticas projetuais adotadas e suas soluções. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma.**

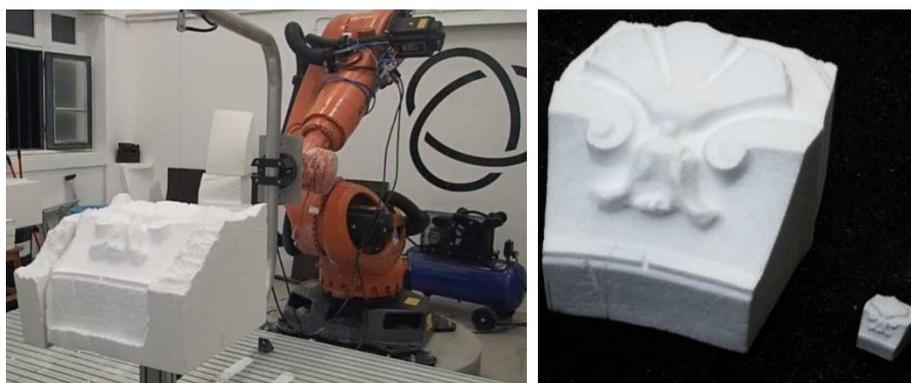
Figura 48 - Impressão 3D do (A) modelo urbano do complexo medieval em *Pultusk*, Polônia, na escala 1/100; (B) modelo arquitetônico das cabanas de *Pultusk* na escala 1/20.



Fonte: Kowal et al. (2015)

Varela e Sousa (2015) geraram protótipos em escala 1/10 e 1/2 visando a reconstrução de um trecho da porta principal do Palácio Episcopal do Porto, Portugal, como teste para uma substituição hipotética desse elemento (Figura 49). Seguindo o mesmo raciocínio, a PR pode ser utilizada no estudo da forma e da configuração externa de um elemento arquitetônico ou de um edifício. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma.**

Figura 49 - Protótipos em escala 1/2 e 1/10 de um trecho da porta do Palácio Episcopal do Porto, Portugal.



Fonte: Varela e Sousa (2015)

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “história” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.4 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “geometria”

“Geometria” refere-se a outro campo da arquitetura e urbanismo que apresenta possibilidades pouco exploradas de uso de TICs no ensino conforme será visto a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Existem possibilidades ainda pouco exploradas do uso de BIM no ensino de disciplinas ligadas à “geometria”. Borges (2016a) trata sobre o desenvolvimento de competências de representação gráfica em uma experiência com uso de um programa paramétrico, de modo a identificar aspectos relacionados ao ensino de expressão gráfica e sua interação com o processo de projeto em um curso de engenharia mecânica. Seguindo esse raciocínio, o professor pode usar a visualização tridimensional do modelo BIM e a documentação de projeto para ensinar desenho de arquitetura, mostrando o que cada representação simboliza no modelo, bem como princípios de perspectiva. A demonstração pode ser feita pela própria interface de *software* BIM de arquitetura como por aplicativos como BIMx ou A360. Sobre isso, Checcucci (2014, p. 182) alerta que além da representação, o “modelo será utilizado para diversas outras atividades [...]”. Neste sentido, é importante que o estudante tenha consciência sobre os usos futuros do modelo de forma a poder participar do contexto amplo do BIM no ciclo de vida da edificação”. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Em sua pesquisa, Checcucci (2014, p. 190) sugere

o ensino-aprendizagem das normas, da criação das diferentes pranchas da edificação e do desenho técnico pode ser realizado diretamente utilizando um programa BIM, pois além de permitirem a representação precisa da edificação também agregam outros recursos de desenho, similares aos que os programas CAD tradicionais (editores de desenho - 2D e modeladores geométricos - 3D) apresentam.

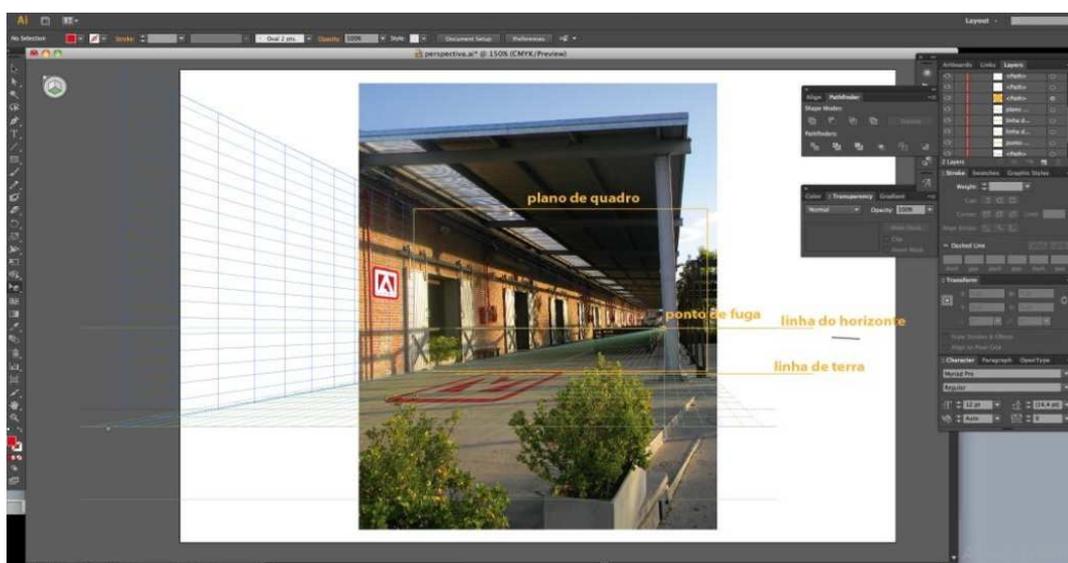
Além da alternativa de ensinar habilidades de desenho, conforme citado acima, o professor também pode utilizar programas BIM para ensinar modelagem e desenvolvimento de imagens virtuais. Nesses casos, os alunos explorariam as possibilidades das ferramentas BIM no que diz respeito a modelagem de modelos BIM e criação de perspectivas aéreas, cavaleira, isométrica, cônica, etc. sob a orientação do professor. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

Realidade Aumentada (RA)

Outra alternativa para o ensino de “geometria” utilizando TICs refere-se ao uso de realidade aumentada. Gonçalves (2013) desenvolveu uma atividade com os programas Photoshop e Illustrator para analisar fotos a partir dos conceitos de

perspectiva em uma turma de Produção Multimídia. Nessas imagens os alunos identificavam o ponto de fuga, linha do horizonte e linha de terra e, em seguida, faziam a aplicação de uma imagem na cena de modo que ficasse em perspectiva (Figura 50). De forma semelhante, a RA pode ser utilizada para auxiliar no ensino de perspectiva através de um aplicativo que utiliza uma câmara para ler a geometria do ambiente e, então, identificar a linha do horizonte e o(s) ponto(s) de fuga na imagem capturada. Após uma aula teórica, o professor pode utilizar essa ferramenta para mostrar como funciona o processo de confecção de perspectiva que está presente nas cenas vistas todos os dias em qualquer lugar. E, desse modo, o docente consegue também desenvolver atividades em que os alunos façam desenhos ao ar livre de modo que a ferramenta ajude a desenvolver as perspectivas corretamente. **Recurso tecnológico: relacionar o real com o virtual.**

Figura 50 - Estudo de perspectiva a partir de uma fotografia.



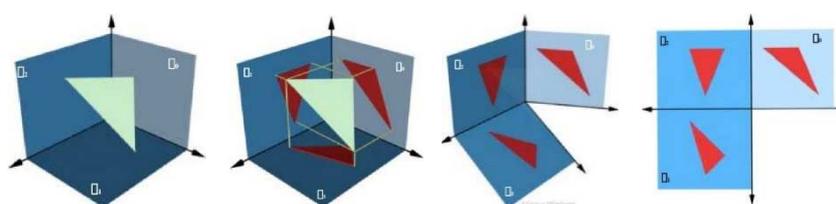
Fonte: Gonçalves (2013)

Realidade Virtual (RV)

Da mesma forma que as outras TICs, a realidade virtual também pode ser explorada no ensino de “geometria”. Jacques et al. (2001) criaram um ambiente de aprendizagem hipermídia que mescla modelos virtuais, animação 2D e textos explicativos para auxiliar os alunos a superarem problemas de compreensão de Geometria Descritiva. Na página criada, os autores (p. 420) demonstram uma animação com a planificação do sistema épura (Figura 51) e também desenvolveram um exercício em épura com animação 2D que simula “uma situação usual em sala de aula, onde um professor resolve um exercício no quadro negro, descrevendo os seus passos até a solução”. Esse experimento pode ser realizado em um ambiente imersivo por meio da

realidade virtual no qual o aluno se encontra dentro de um modelo tridimensional do plano oblíquo. Nesse modelo, o aluno pode escolher diferentes objetos para serem projetados nos planos, e ao selecionar um deles, inicia uma animação mostrando o passo a passo do processo de planificação do objeto até chegar no resultado final em *épura*. Outro cenário imersivo seria a realização de exercícios em *épura* em que é dado uma questão e aparece uma janela com opções para o aluno resolver virtualmente o problema e, em seguida, tem uma opção para visualização da resposta final por meio de animação que mostra os passos para solução da questão. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual.**

Figura 51 - Animação mostrando a planificação da *épura*.



Fonte: Jacques et al. (2001)

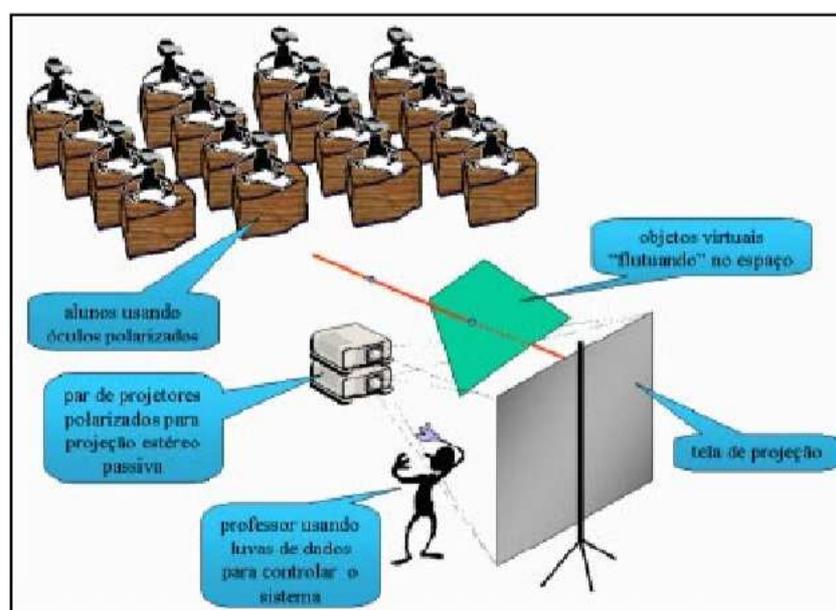
Keller e Schreiber (1999) apresentam um *software* educacional denominado GEO-3D que opera como uma ferramenta de ensino de poliedros, conteúdo de geometria espacial, e desenvolvido para alunos de ensino fundamental. O GEO-3D possui um ambiente composto por cinco modalidades: tutorial, exercícios e prática, simulação, jogo educacional e híbrida. Partindo da proposta de jogo educacional descrita pelos autores, o ensino de geometria e perspectiva pode ser apropriado por meio de exercícios em um ambiente de RV em formato de jogo. Assim, pode ser criado um jogo composto por fases que são vencidas conforme ocorre a interação do aluno com o ambiente proposto e conforme as questões selecionadas forem respondidas corretamente em cada fase. Ao selecionar uma opção de resposta, o aluno é encaminhado para a próxima fase se ela estiver correta. Caso a resposta esteja errada, o estudante é direcionado para um outro ambiente de aprendizagem. Nesse ambiente será mostrado o resultado correto do exercício e a justificativa da resposta, em seguida, o estudante deve responder outra questão de mesmo nível e sobre o mesmo conteúdo para verificação do aprendizado. Caso ele acerta a resposta, passará para a próxima fase, caso erre, novamente aparecerá a resposta correta e um novo exercício do mesmo conteúdo. Quanto mais próximo do fim do jogo, maior o nível de dificuldade das perguntas. No final do jogo aparecerá o tempo total do percurso e seu desempenho. O estudante poderá fazer outras tentativas para melhorar seu desempenho e tempo de percurso e comparar com seus colegas de turma. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual.**

Outro uso de realidade virtual foi apresentado por Seabra e Santos (2005). Os autores exibem o projeto de uma ferramenta para ser utilizada em sala de aula no ensino de Geometria Descritiva e Desenho. Segundo os autores (p. 118), a ferramenta executa “construções geométricas tridimensionais, a qual permitirá a criação de situações espaciais com pontos, retas, planos e suas projeções, conforme os movimentos da mão do usuário (usualmente, o professor)” e acrescenta que “a interface para criação e manipulação dos elementos geométricos será gestual” (Figura 52). O usuário poderá criar pontos, retas, planos, sólidos primitivos, selecionar e excluir objetos, rotacionar o sistema de coordenadas e salvar e abrir cenários construídos. Além do ensino de geometria descritiva e de desenho, conforme sugestão dos autores, esse protótipo também pode ser usado como uma ferramenta para o ensino de perspectivas. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

A prototipagem rápida é uma tecnologia que também pode ser utilizada para ensinar “geometria”. Uma possibilidade ainda pouco explorada no ensino com uso de PR refere-se ao uso de protótipos durante uma explicação teórica e em exercícios de geometria descritiva, de modo que os alunos, de posse dos modelos, desenhem as vistas ortogonais no 1º e 3º diedros. Outra alternativa seria partir do desenho de vistas ortogonais para os alunos construírem um modelo virtual e fazer a prototipagem do modelo. Nesse segundo caso, além de ensinar conceitos de geometria, o professor também desenvolve nos alunos a habilidade de modelagem, criação de imagens virtuais, modelos e maquetes. Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma**.

Figura 52 - Cenário de uso do sistema proposto



Fonte: Seabra e Santos (2005)

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “geometria” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.5 Possibilidades pouco exploradas no ensino dos conteúdos de “projeto”

As TICs também podem ser utilizadas em disciplinas da categoria “projeto” conforme será apresentado a seguir.

Building Information Modeling (BIM)

Eastman et al. (2014) apontam diferentes benefícios do uso do BIM para o setor de construção civil. Alguns desses benefícios podem ser aproveitados na academia pelos docentes e discentes com a utilização de programas BIM no ensino de “projeto”. Um dos benefícios indicados (p. 17) trata da “correção automática de baixo nível quando mudanças são feitas no projeto”. Com relação a isso, Ruschel et al. (2011 apud DELATORRE, 2014, p. 82) comentam que como os *softwares* BIM são paramétricos e produzem cortes e fachadas automaticamente, espera-se “gastar mais tempo projetando e menos tempo desenhando”. Ou seja, pressupõe-se que a utilização de programas BIM na disciplina de projeto estimule os estudantes a se debruçarem sobre os projetos, desenvolvendo mais soluções arquitetônicas, fazendo mais estudos de fachadas e analisando melhor o sítio onde o projeto está inserido.

Os mesmos autores (2014, p. 17) citam outro benefício que se relaciona a “descoberta de erros de projeto e omissões antes da construção”. Migrando esse benefício para o curso de arquitetura e urbanismo, com o suporte de programas BIM, os professores podem demonstrar como as diferentes disciplinas que compõem um projeto se relacionam em uma construção através da demonstração de erros de projeto (*clash detection*). A compreensão dessa relação é importante para os alunos de graduação, uma vez que os conteúdos são ensinados em disciplinas e períodos diferentes e, por meio do projeto, este estudante pode entender como esses conteúdos interagem entre si. Assim, a visualização em três dimensões das interferências de projeto pode contribuir para a compreensão do funcionamento de diferentes disciplinas em um projeto. Recurso tecnológico: **verificação de incompatibilidade de projeto**.

Outro benefício indicado por Eastman et al. (2014, p. 18), e que os alunos podem aproveitar durante o desenvolvimento de projeto, refere-se ao uso de modelos esquemáticos BIM para determinação se a construção cumpre os requisitos funcionais e de sustentabilidade, e a “extração de estimativas de custo durante a etapa de projeto”. Com isso, os professores podem aproveitar as oportunidades oferecidas por *softwares*

BIM de estudo de viabilidade da construção - como o DProfiler - para ensinar conteúdos relacionados à concepção de projetos de diferentes escalas (arquitetura, urbano e paisagismo) considerando custo, durabilidade e especificações a partir da extração e análise de informações referentes ao tempo, custo, área e impacto da construção no ambiente construído. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**.

Seguindo esse raciocínio, umas das atividades desenvolvidas com alunos de “projeto” diz respeito a análise de projetos arquitetônicos renomados. Sobre isso, Canuto (2017, p. 169) expressa que “ao modelar digitalmente uma edificação existente torna-se possível reviver o processo de concepção da obra, uma vez que todas as informações relacionadas ao projeto – incluindo arranjo físico, especificações e tecnologias – são acessadas visando à construção digital do modelo”. A autora (p. 168-169) complementa que o passeio virtual pelo modelo BIM também facilita “o estudo e análise das soluções projetuais adotadas”. Dessa forma, uma das possibilidades de uso do BIM no ensino de “projeto” refere-se à exploração de soluções projetuais de obras consagradas com base em um modelo BIM finalizado objetivando realizar análise por meio de passeios virtuais e da documentação do projeto, ou desenvolvimento de um modelo BIM pelos alunos a partir de desenhos 2D e outras informações da construção que estiverem disponíveis. Recurso tecnológico: **interação com o modelo e o projeto**.

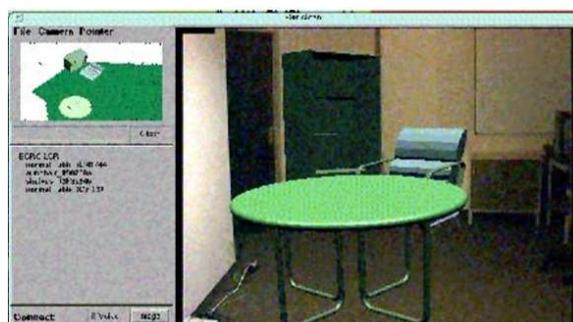
Mais uma alternativa do BIM refere-se realização de análises no modelo a partir de regras de verificação criadas pelo usuário (SANTOS: SALGADO, 2017). Segundo os mesmos autores (s.p.), a utilização de *software* de regras, como o Solibri, colabora para a validação de projetos legais pela prefeitura e pelos projetistas, ajuda na “análise de sustentabilidade e de acessibilidade, na validação dos requisitos necessários para o comprimento dos contratos, na extração de quantitativos e no planejamento das obras e na manutenção dos edifícios”. Dessa forma, os alunos podem utilizar programas como este para conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo considerando especificações, regulamentações legais, acessibilidade dos usuários e outros aspectos que forem importantes para a verificação do projeto segundo princípios estabelecidos pelo professor. Já os professores podem testar os projetos dos alunos para validar requisitos solicitados em um exercício, como pode simular perante a turma a avaliação de um projeto segundo regras de modo a chamar a atenção quanto ao cumprimento de exigências legais. Recurso tecnológico: **simulação do modelo**.

Realidade Aumentada (RA)

A realidade aumentada é um TIC que oferece possibilidades para o ensino de “projeto”. Em sua pesquisa, Tripathi (2000 apud AMIM, 2007, p. 77) exhibe uma aplicação de RA para projeto de interiores a partir da combinação de uma câmera que captura a

imagem de um ambiente real e objetos 3D de realidade aumentada que podem ser inseridos neste ambiente para a escolha e a visualização de um *layout* de interiores (Figura 53). Nesse estudo, os objetos 3D fazem parte de um catálogo eletrônico que possui uma variedade de móveis, cores e preços. Esses objetos podem ser posicionados no ambiente, adicionados, rearranjados e também é possível visualizar os ambientes com os objetos por diferentes ângulos. Com base nessa experiência, o professor pode utilizar esse tipo de aplicação de realidade aumentada para ensinar conteúdos de “projeto” em diferentes escalas, ou seja, tanto projeto de arquitetura de interiores e de edificação multifamiliar como projeto de urbanismo. A partir desse experimento o docente pode explorar sobre o ato de conceber o projeto, discutir *layouts* em cima da visualização do projeto do aluno, tratar de temas como custo, durabilidade, manutenção, especificação, regulamentos legais, acessibilidade, desenho urbano, entre outros, desde que o objeto de RA, além da visualização 3D, também forneça essas outras informações. Recurso tecnológico: **visualização do modelo virtual.**

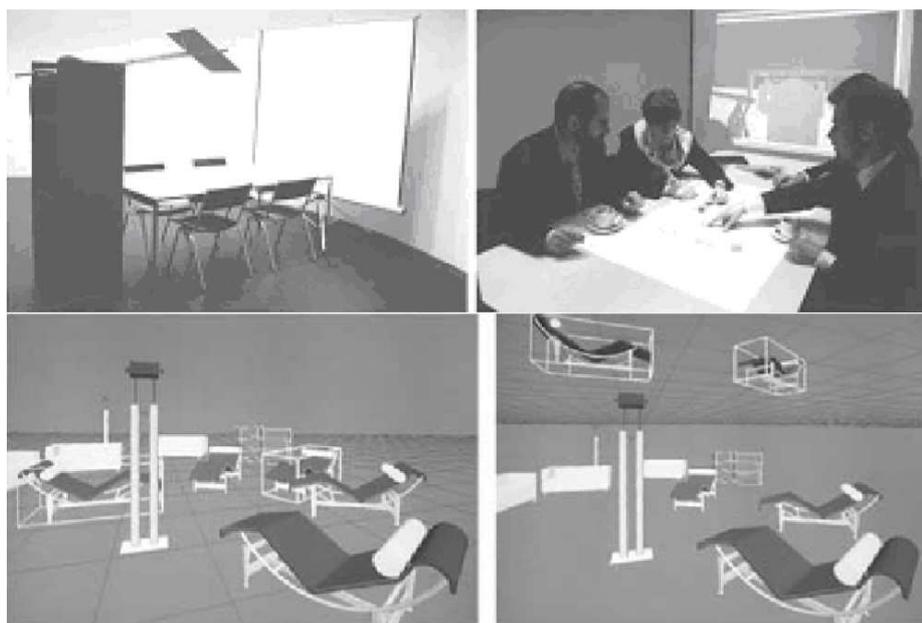
Figura 53 - Objetos 3D de RA (mesa e cadeira) sendo escolhidos para o layout de um escritório



Fonte: Amim (2007, p. 78)

Fjeld (2002 apud AMIM, 2007) relata um sistema para ser usado em reuniões de projeto e planejamento. Esse sistema é composto por dois projetores, uma câmera de vídeo, uma lâmpada, espelho, mesa, cadeiras, uma tela e blocos com marcadores (Figura 54). A planta baixa do projeto é projetada na mesa. Cada bloco com marcador representa um mobiliário diferente que é a razão da discussão de projeto. Na tela aparecem vistas do mobiliário virtual que estão sobre a mesa, sendo possível visualizar de forma aproximada ou afastada dos objetos. Esse sistema pode ser utilizado durante discussões de projeto em sala de aula tanto pelo professor como pelo aluno ou equipes de alunos. Adicionalmente, apesar desse caso ser testado para o uso em projeto de interiores, o sistema também pode ser empregado para projeto de edificações, urbanismo (AMIM, 2007) e paisagismo. Recurso tecnológico: **visualização do modelo virtual.**

Figura 54 – Equipe de projeto interagindo com marcadores em cima da planta baixa e visualizando na tela os objetos virtuais.



Fonte: Adaptado de Amim (2007, p. 79-80)

Realidade Virtual (RV)

Outra alternativa de uso de TIC no ensino de “projeto” trata-se da realidade virtual. Segundo Grilo et al. (2001, s.p.), a realidade virtual “constitui uma ferramenta ímpar para a percepção, avaliação e apreciação de projetos arquitetônicos, antes da sua construção”. Nesse sentido, os autores comentam que com essa TIC os projetos podem ser avaliados de dentro para fora e de fora para dentro, uma vez que a arquitetura pode ser visitada internamente permitindo, assim “um nível de compreensão do projeto superior ao das representações bidimensionais ou dos modelos tridimensionais”. Por esses aspectos, a discussão de projeto aluno-professor, aluno-aluno e professor-professor passa a ser mais rica, dinâmica e espontânea por ter condições de avaliar o projeto por ângulos que só podem ser proporcionados por uma visão imersiva do espaço. Recurso tecnológico: **passeio virtual**.

De acordo com Mcmillan (1994) e Bertol (1997 apud GRILO et al., 2001, s.p.), modelos virtuais podem ser utilizados para “simular a evolução dos diversos fatores envolvidos no desenho urbano ao longo do tempo, [...] analisar o impacto dos projetos nas áreas existentes, avaliar a influência da intervenção na circulação e na configuração socioeconômica de uma determinada circunvizinhança. Dessa maneira, os professores podem criar um modelo urbano para mostrar diferentes propostas de intervenção que são visualizadas por meio de RV de modo que os alunos vivenciem aqueles espaços e percebam as vantagens e desvantagens de cada projeto de intervenção e também

analisem aspectos antropológicos, sociológicos e econômicos da população estudada. Recurso tecnológico: **passaio virtual**.

Netto, Machado e Oliveira (2002, p. 25) apontam vantagens e facilidades de utilização de RV na indústria de manufatura dos quais se destacam o desenvolvimento de “uma ergonomia funcional e confiável sem a necessidade de construir um modelo em escala real”. Com base nisso, a RV pode ser utilizada no ensino de ergonomia para mobiliários urbanos e de interiores a partir do uso de *data gloves* (luva virtual) onde o usuário pode sentir o mobiliário e ter a sensação de que é um objeto real, e da criação de personagens virtuais com diferentes tamanhos para simular o uso do mobiliário e analisar se suas proporções são adequadas. Assim, a RV também pode ser usada para ensinar história das artes e da estética, conceber projetos e gerar planos de intervenção no espaço urbano. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

BIM e RV

De acordo com Kieferle e Woessner (2015) é possível combinar a plataforma BIM com Realidade Virtual através da comunicação dos *softwares* Revit com COVISE (*Collaborative Visualization and Simulation Environment*) e OpenCOVER (*COVISE Virtual Environment Renderer*), como um sistema de visualização e ambiente virtual. Para facilitar a troca de informações entre o Revit e OpenCOVER foi adicionado o C# no Revit e um plugin C++ ao COVISE. Nessa pesquisa, as informações são trocadas entre esses sistemas e mudanças feitas no Revit são alteradas automaticamente na RV e vice-versa. Portanto, segundo os autores, é possível, em tempo real, interagir com o modelo como, por exemplo, mover elementos, mudar textura, interagir com simulações e acessar um painel com informações do cômodo visitado (nome do cômodo, metragem quadrada, número do andar, etc.) (Figura 55). Os usuários podem alterar parâmetros pelo *tablet* ou celular enquanto trabalham no ambiente virtual. Dessa forma, os projetos podem ser visitados em escala 1/1 em uma CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) por equipes de projeto e alterados durante a reunião. No ensino de “projeto”, a experiência imersiva acrescida da possibilidade de interação com o modelo permite que os usuários avaliem a qualidade das soluções de projeto além de testar novas soluções, sem a necessidade de retrabalho de atualizar o modelo BIM. Esse estudo abre portas para diversas maneiras de interagir tecnologia com a construção civil e com o ensino. Dessa forma, esse uso de RV também pode contribuir para gerar edifícios sustentáveis pensados desde o início do processo de projeto. Recurso tecnológico: **interação com ambiente virtual**.

Figura 55 - (A) Selecionando e movendo a fachada do piso térreo em RV com mouse 3D, (B) Painel em RV mostrando informações da sala atualizadas a partir do modelo Revit, (C) Equipe de projeto discutindo sobre variantes da simulação de fluxo de ar no planejamento urbano da cidade de Hildesheim.



Fonte: Kieferle and Woessner (2015)

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Da mesma forma que as outras TICs apontadas anteriormente, a prototipagem rápida e a fabricação digital também podem ser exploradas no ensino de “projeto”. Digiandomenico, Landim e Fischer (2017) descreveram o processo de concepção, fabricação e instalação de um mobiliário urbano no Largo da Batata, São Paulo. Durante o processo utilizou-se a prototipagem rápida para criação de modelos em escala 1/9 e a fabricação digital para a montagem do mobiliário. Os autores relataram que a PR permitiu analisar a viabilidade da construção, evidenciou falhas de construção e contribuiu para a melhoria do projeto. Já a FD elucidou problemas não percebidos na fase de concepção de projeto. Dessa forma, os professores podem desenvolver uma atividade utilizando as oportunidades oferecidas pela prototipagem rápida e pela fabricação digital em conjunto. A atividade consistiu em um estudo de uma construção criada a partir da fabricação digital onde os alunos analisam os problemas de projeto e de construção encontrados. E, com base nisso, eles elaboram um novo projeto que resolveu as questões apontadas e no decorrer do processo de concepção utilizam a prototipagem rápida para avaliação do projeto. Em um segundo momento, os estudantes construíram o projeto em escala real por meio da fabricação digital para evidenciar se as questões foram atendidas e, se por acaso, surgiram novas questões a serem resolvidas. Esse tipo de atividade não só desenvolve a capacidade criativa do aluno, mas também trabalha a visão crítica de projeto e o pensamento das etapas do processo construtivo necessárias para execução do projeto. Recurso tecnológico: **antecipar decisões.**

Outra alternativa trata-se da utilização de terrenos prototipados para o ensino de topografia. O protótipo pode conter a elevação das curvas de nível com a finalidade dos alunos compararem o modelo com o desenho 2D. Além disso, o protótipo pode conter cortes no terreno e ter uma área com terraplanagem de modo que o modelo possa ser

utilizado em sala de aula de forma expositiva para a explicação de conteúdos teóricos. A visualização e o contato com o modelo podem facilitar a compreensão dos assuntos teóricos além de trazer a topografia para a “realidade” onde os arquitetos estão inseridos, uma vez que arquitetos são familiarizados com maquetes. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto**.

Outras maneiras de usar as TICs no ensino de “projeto” são apresentadas na seção 5.6. E a seção 5.7 consolida as possibilidades que foram expostas por meio dos recursos tecnológicos destacados.

5.6 Possibilidades a serem exploradas no ensino de diferentes categorias

Essa seção reúne pesquisas que se enquadram em mais de uma categoria dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Building Information Modeling (BIM)

Cunha, Santos e Salgado (2015) destacaram o potencial de confeccionar e manipular um modelo BIM de uma construção existente tombada. No artigo, os autores modelaram o projeto da Vila Balbina de Severiano Mario Porto. Alguns aspectos levantados por eles foram: usar o modelo para auxiliar no estudo de soluções de projeto; divulgar a obra; realizar passeios virtuais sem precisar se deslocar até o local da construção; adicionar informações sobre o ciclo de vida da obra; inserir informações como “desenhos técnicos originais”, “registros de relevância históricas e patrimoniais que levaram ao tombamento; identificar os elementos que ainda são originais destacando daqueles que sofreram algum tipo de intervenção, bem como detalhes sobre a técnica utilizada” (CUNHA; SANTOS; SALGADO, 2015, s.p). As possibilidades apontadas pelos autores podem ser adotadas no ensino de “história”, “projeto” e “conforto ambiental” no que diz respeito à exploração das características da construção tombada, passeio virtual e estudo de soluções projetuais e de conforto ambiental. Além disso, podem ser feitas análises de desempenho ambiental com o mesmo modelo BIM. Dependendo do modelo a ser desenvolvido, também é possível tratar de assuntos relacionados ao urbanismo e paisagismo. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto** (“conforto ambiental”, “história” e “projeto”) e **simulação do modelo** (“conforto ambiental”).

Realidade Aumentada (RA)

O experimento *AR Magic Book* desenvolvido por Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016) que explora o conteúdo dos livros didáticos com RA, citado na seção 4.1, possui

potencial de ser explorado no ensino de qualquer conteúdo e nível escolar. Isto porque a técnica pode ser adaptada de acordo com o que deseja ser explorado no livro didático pelo professor. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Da mesma forma, o estudo feito por Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007) sobre o uso de realidade aumentada como um meio para exploração do jardim ecológico da universidade foi explorado no ensino da categoria “conforto ambiental”, conforme mostrado na seção 4.2. Contudo, além do ensino de “conforto ambiental”, essa abordagem também pode ser explorada no ensino dos conteúdos de “construção”, “história”, “geometria” e “projeto” por meio de informações 2D, 3D e textos que podem ser sobrepostas à uma construção possibilitando a compreensão de diferentes temas relacionados à arquitetura e urbanismo. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual**.

Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007, p. 84) realizaram uma experiência, descrita na seção 4.5, onde os alunos projetaram uma edificação no campus da universidade em um ambiente externo. A sobreposição de um projeto virtual sobre o mundo real permite que os alunos visualizem, analisem e modifiquem o projeto de uma edificação em tempo real no local em que a edificação será construída. Apesar do experimento ter sido realizado em disciplina ligada à categoria ‘projeto’, este estudo também pode ser utilizado para o ensino de “conforto ambiental” e de “construção”. Em relação à “conforto ambiental”, o professor pode simular ventos dominantes, caminho do sol, mostrar fontes sonoras e sua reverberação, ensinar sobre preservação da paisagem, desenvolvimento sustentável, avaliação dos impactos no meio ambiente, condições climáticas, acústicas, lumínicas e energéticas. Já em relação à “construção”, ao sobrepor um projeto virtual sobre o mundo real com a possibilidade de interagir fazendo modificações virtuais, o professor pode mostrar aspectos construtivos da edificação, bem como instalações e equipamentos prediais, sistemas estruturais, explicar sobre a organização de obras e canteiros, implantação de infraestrutura urbana, domínio da concepção e do projeto estrutural e fundações. Recurso tecnológico: **relacionar o real com o virtual** (“conforto ambiental” e “construção”) e **manipulação do modelo virtual** (“construção”).

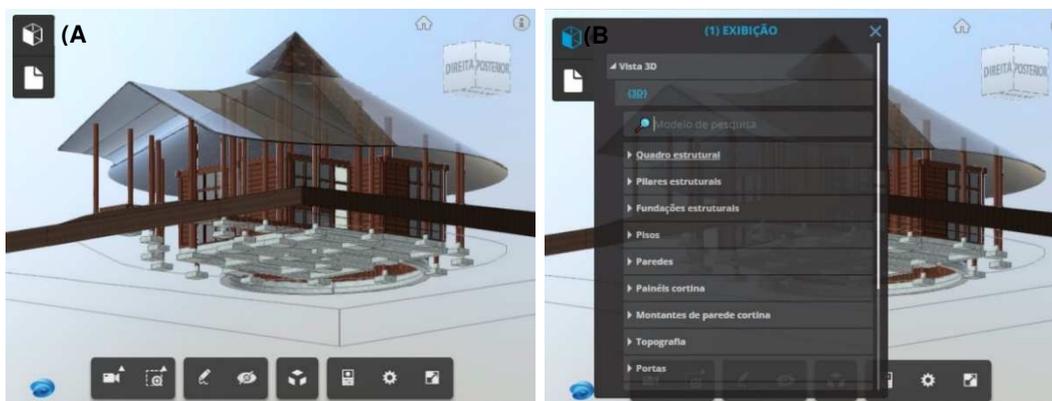
Realidade Virtual (RV) e BIM

Como resultado de seu trabalho final de graduação, Cunha (2016) realizou a construção do modelo BIM do Centro de Proteção Ambiental (CPA) da Usina Hidroelétrica de Balbina e divulgou este modelo e o projeto original do arquiteto em um site (<http://marcoabcunha.wixsite.com/balbinadigital>) como meio de exposição e preservação do bem tombado. O site além fornecer informações históricas do CPA e do

projeto - como desenhos originais -, também permite fazer uma visita virtual pelo modelo BIM bem como uma visita imersiva com uso de óculos de realidade virtual. Esse tipo de reconstrução virtual - criação de um modelo BIM e uso de RV para visita à edificação - pode ser utilizado pelos professores de “história” tanto para fazer um passeio virtual pelo modelo BIM ou um passeio imersivo pela RV como para explorar as características da edificação que levaram ao tombamento, bem como verificar meios de promover a conservação e preservação da edificação a partir da observação do modelo. Recurso tecnológico: **passeio virtual** (“história” e “construção”).

Adicionalmente, o modelo do site pode ser utilizado pelos professores de “construção” e de “projeto”. No caso do ensino de “construção”, o passeio virtual pelo modelo BIM permite a compreensão do processo construtivo de uma edificação a partir da visualização por elementos (habilitar apenas os pilares, fundação, piso, etc.) disponíveis no site (Figura 56). Além disso, também possibilita o estudo de fundações, do projeto estrutural e da estabilidade da construção. Com relação ao ensino de “projeto”, o site de Cunha (2016) viabiliza visualizar os desenhos originais do arquiteto, permite ver o modelo por elementos como paredes, coberturas, estrutura, etc., além de permitir a visualização em perspectiva ortogonal, explodida, fazer anotações no modelo, entre outras funções que facilitam a compreensão do projeto. Adicionalmente, também é possível estudar os conflitos entre o que foi projetado e o que de fato foi construído a partir da comparação entre os desenhos originais e o modelo BIM, que consultou fotos do projeto executado para descobrir as soluções adotadas pelo arquiteto durante a construção. Ou seja, o modelo BIM presente no site criado por Cunha (2016) pode ser explorado de diferentes formas pelos professores de “construção”, “história” e “projeto” de modo a fazer o aluno visualizar e compreender os conteúdos ensinados de uma forma diferente da que é praticada. Recurso tecnológico: **visualização do modelo e do projeto** (“projeto”).

Figura 56 - (A) visualização do modelo BIM pelo site de Cunha (2016); (B) seleção dos elementos do modelo para visualização.



Fonte: site de Cunha (2016) - <http://marcoabcunha.wixsite.com/balbinadigital>

Prototipagem Rápida (PR) e/ou Fabricação Digital (FD)

Da mesma forma que as outras TICs apontadas anteriormente, a prototipagem rápida também pode ser explorada de outras formas. Em seu estudo, Savignon, Salgado e Lassance (2012) destacam vantagens do uso de protótipos para integrar técnica construtiva com a concepção arquitetônica. Segundo os autores, o protótipo auxilia na comunicação de ideias sobre materiais, conexões, texturas, formas, tamanhos e proporções entre outros aspectos; reduz o tempo de compreensão dos detalhes de projeto; dribla o problema da representação em desenho com soluções construtivas; propicia um acesso instantâneo ao objeto de estudo; auxilia na avaliação antecipada do produto e eliminação de possíveis falhas; e ajuda na detecção de problemas de execução não observados durante a elaboração do projeto. Da mesma forma, essas vantagens do uso de protótipo podem ser levadas para o ambiente acadêmico no ensino de “construção” e “projeto”, e os alunos podem se beneficiar de seu uso em sala de aula. Recurso tecnológico: **antecipar decisões** (“construção” e “projeto”).

Em sua pesquisa, Quintella, Ferreira e Florêncio (2016) enaltecem o potencial educacional do uso de pavilhões temporários feitos por meio de fabricação digital. Segundo os autores, o processo de fabricação de pavilhões permite experimentar a criação (projeto), a construção e a apropriação do espaço, o que oferece um impacto profundo na formação do arquiteto ao vivenciar essa experiência. E isto oferece base para exercícios de integração entre disciplinas do curso de arquitetura como concepção gráfica, “expressão gráfica, detalhamento, teoria do projeto, informática, paisagismo, materiais e sistemas estruturais, teoria e história da arquitetura” e o “entrecruzamento entre teoria e prática” (QUINTELLA; FERREIRA; FLORÊNCIO, 2016, p. 318). Recurso tecnológico: **testar/estudar a forma** (“construção”, “história”, “geometria” e “projeto”).

5.7 Consolidação das possibilidades pouco exploradas

Essa seção apresenta uma consolidação das possibilidades pouco exploradas proporcionadas pelo BIM, RA, RV, PR e FD no ensino de arquitetura e urbanismo. Dessa forma, foram elaborados os Quadros 10, 11, 12, 13 e 14 que sistematizam as alternativas apresentadas nesse capítulo por meio de cada tecnologia. Os quadros evidenciam os recursos tecnológicos, as alternativas de uso desses recursos pelo professor, a categoria de ensino, os respectivos conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria - apresentados na seção 2.2.2 -, exemplos de ferramentas e o autor usado como referência.

Quadro 10 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de BIM

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Simulação do modelo	Simulação estrutural	“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Sistemas estruturais; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	Revit, Archicad, Robot Structural Analysis	Barazzetti et al. (2015)
	Análise de desempenho ambiental	“Conforto Ambiental”	Preservação da paisagem; Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOSim, <i>softwares</i> de simulação ambiental, Application Programming Interface (API) do Revit, Sketchup e FormIt	Wu e Clayton (2013); Paula (2015); Cunha, Santos e Salgado (2015)
	Estudo de viabilidade	“Projeto”	Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade e especificações regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.	DProfiler	Eastman et al. (2014)
	Segundo regras			Solibri	Santos e Salgado (2017)
Visualização do modelo e do projeto		“Construção”	Instalações e equipamentos prediais; Domínio do projeto estrutural	BIMx e A360	Leal, Salgado e Silvano (2018)
		“Conforto Ambiental”	Preservação da paisagem; Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOSim	Cunha, Santos e Salgado (2015)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		
		“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; Levantamentos topográficos.		

Continua

Quadro 10 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de BIM (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Planejamento da execução	Logística do canteiro de obras	"Construção"	Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana	Navisworks, Synchro 4D e VICO	Leal, Salgado e Silvano (2018)
	Etapas de construção				
	Controle de custo				
	Controle de prazo				
Interação com o modelo e o projeto	"História"	História da arquitetura; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações.	Archicad, Revit, BIMx, A360	Canuto (2017)	
	"Geometria"	Habilidades de desenho; Perspectiva, Modelagem; Imagens virtuais.	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOsim, BIMx, A360.	Borges (2016a); Checcucci (2014)	
	"Projeto"	História das artes e da estética; Aspectos antropológicos, Sociológicos e econômicos; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.		Canuto (2017)	
Verificação de incompatibilidades de projeto	"Projeto"	Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando manutenção e especificações	Revit, Navisworks, Vico.	Eastman et al. (2014)	

Fonte: Autor

Quadro 11 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Aumentada

Recursos tecnológicos	Alternativas		Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)	
Relacionar o real com o virtual	Marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real)	“Conforto ambiental”	Preservação da paisagem; Avaliação dos impactos no meio ambiente; Desenvolvimento sustentável; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas.	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o Augment ou Layar, marcador ou GPS	Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)	
			“Construção”	Técnicas e sistemas construtivos; Materiais de construção; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Estabilidade das construções; Fundações.		Assis, Brochardt e Andrade (2016); Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)	
		Construído (virtual) e existente (real)	“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		Amim (2007); Medeiros e Paraizo (2015)	
			“Construção”	Materiais de construção Instalações e equipamentos prediais Sistemas estruturais;		Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)	
		Textos, imagens e/ou vídeos informativos	“Conforto Ambiental”	Condições energéticas		Sun Surveyor, Sun Seeker e Thermal Vision Fusion.	Paula (2015)
			“História”	História das artes e da estética; Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o Augment ou Layar, marcador ou GPS	Feiner et al. (2003 apud AMIM, 2007); Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)
	“Geometria”		Domínio da geometria; Perspectiva	Kuo et al. (2004 apud AMIM, 2007)			
	“Projeto”		Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional; Levantamentos topográficos.				
	Todas categorias	Todos conteúdos	<i>AR Magic Book</i>	Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)			

Continua

Quadro 11 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Aumentada (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas		Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Relacionar o real com o virtual	Sem marcador	Textos, imagens e/ou vídeos informativos	“Geometria”	Habilidades de desenho; Perspectiva.	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o <i>Augment</i> ou <i>Layar</i>	Gonçalves (2013)
Manipulação do modelo virtual	Por meio de marcador		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o <i>Augment</i> ou <i>Layar</i> , marcador ou GPS	Rimkus e Galvão (2013)
	Por meio de GPS		“Construção”	Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Fundações.		Thomas, Piekarski e Gunther (2006 apud AMIM, 2007)
Visualização do modelo	Por meio de marcador		“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional	Modelo tridimensional, <i>smartphone</i> ou <i>tablet</i> , aplicativo de RA como o <i>Augment</i> ou <i>Layar</i> , marcador ou GPS	Fjeld (2002 apud AMIM, 2007)
	Sem marcador			História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Urbanismo e desenho urbano; Planos de intervenção no espaço urbano.	Dispositivo com câmera e aplicativo com objetos 3d de realidade aumentada que podem ter informações atreladas a ele como custo, especificação, medidas, etc.	Tripathi (2000 apud AMIM, 2007)

Fonte: Autor

Quadro 12 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Virtual

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Ensaio em ambientes virtuais		“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D e óculos de RV	Bryson (1991-93 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 24); Bajura (1992) e Hand (1994 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 25); Dupont (1994) e Vince (1995 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002)
		“Conforto Ambiental”	Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D; óculos de RV; transmissores auditivos, de calor, de frio e de movimento de ar	Bryson (1993 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002); Grilo et al. (2001); Seiler, Koch e Both (2015)
Passeio virtual	-	“Projeto”	Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Levantamento topográfico	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional (como SketchUp e 3DStudio Max), programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D e óculos de RV	Grilo et al. (2001)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		Moura (2017)
	com exibição de textos, vídeos e/ou imagens informativas	“Projeto”	Aspectos antropológicos, Sociológicos e econômicos; Conceber projetos Urbanismo e paisagismo; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional.		Eliseo et al. (2009)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.		Mcmillan (1994) e Bertol (1997 apud GRILLO et al., 2001)
	CAVE	“História”	Teoria e de história da arquitetura do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.	-	

Continua

Quadro 12 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Realidade Virtual (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Visualização do modelo e do projeto		“Construção”	Domínio da concepção e do projeto estrutural	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente virtual como o Unity 3D e óculos de RV	Grilo et al. (2001)
Interação com ambiente virtual		“Geometria”	Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Perspectiva.	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, programa de criação do ambiente e de personagens virtuais como o Unity 3D, <i>joystick</i> , <i>datagloves</i> e óculos de RV.	Jacques et al. (2001); Keller e Schreiber (1999); Seabra e Santos (2005)
		“Projeto”	Conceber projetos; Planos de intervenção no espaço urbano; História das artes e da estética		Netto, Machado e Oliveira (2002)

Fonte: Autor

Quadro 13 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Prototipagem Rápida e Fabricação Digital

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Antecipar decisões	de construção	“Construção”	Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Organização de obras e canteiros; Implantação de infraestrutura urbana; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Estabilidade das construções; Fundações	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional e impressão em máquina CNC.	Carvalho et al. (2017); Leal, Salgado e Silvano (2018); Rodrigues, Pinto, Rodrigues (2010); Savignon, Salgado e Lassance (2012)
	de projeto	“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional		Digiandomenico, Landim e Fischer (2017); Savignon, Salgado e Lassance (2012)
Visualização do modelo e do projeto		“Projeto”	Levantamentos topográficos	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional e impressão em máquina CNC. Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	-

Continua

Quadro 13 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso de Prototipagem Rápida e Fabricação Digital (continuação)

Recursos tecnológicos	Alternativas	Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
Testar / Estudar a forma	com sensores e fotômetro	“Conforto Ambiental”	Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições lumínicas; Condições energéticas	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional, impressão em máquina CNC, instalação de sensores no protótipo.	Braida et al. (2014)
	em túnel de vento		Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas		Shimomura, Frota e Celani (2010) e Pupo (2009)
	-	“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções.	Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)
		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.	Fotogrametria, escaneamento a laser, Rhinoceros e <i>Grasshopper</i>	Kowal et al. (2015); Varela e Sousa (2015); Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)
		“Geometria”	Habilidades de desenho; Domínio da geometria; Modelagem; Maquetes; Modelos; Imagens virtuais	<i>Softwares</i> de modelagem tridimensional e impressão em máquina CNC. Rhinoceros e Grasshopper (plugin)	-
“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, especificações e acessibilidade dos usuários; Planos de intervenção no espaço urbano.	Quintella, Ferreira e Florêncio (2016)			

Fonte: Autor

Quadro 14 - Consolidação das possibilidades pouco exploradas com uso diferentes TICs

TIC	Recursos tecnológicos	Alternativas		Categoria e conteúdos que podem ser ensinados em cada categoria		Exemplos de ferramentas	Autor (ano)
BIM e RA	Tutorial para ensaios em laboratório			“Construção”	Materiais de construção; Técnicas e sistemas construtivos; Instalações e equipamentos prediais; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções.	Revit, Archicad, Vectorworks, AECOSim, 3D Max, Unity 3D, Adobe Audition (áudio) e aplicativo de RA	Cuperschmid, Grachet e Fabrício (2016)
	Relacionar o real com o virtual	Por meio de marcador ou GPS	Projetado (virtual) e construído (real)	“Conforto Ambiental”	Avaliação dos impactos no meio ambiente; Condições climáticas; Condições acústicas; Condições lumínicas; Condições energéticas	Revit, Unity 3D.	Behzadan, Vassigh e Mostafavi (2016)
	Manipulação do modelo virtual	Por meio de marcador ou GPS		“História”	Teoria e de história da arquitetura, do urbanismo e do paisagismo; Práticas projetuais e as soluções tecnológicas para a preservação, conservação, restauração, reconstrução, reabilitação e reutilização de edificações, conjuntos e cidades.	Modelo BIM e aplicativo de RA	Canuto, Moura e Salgado (2016)
BIM e RV	Passeio virtual			“História”		Modelo BIM e Unity 3D, Acesso ao site criado por Cunha (2016)	Canuto, Moura e Salgado (2016); Cunha (2016)
				“Construção”	Técnicas e sistemas construtivos; Sistemas estruturais; Domínio da concepção e do projeto estrutural; Resistência dos materiais, Estabilidade das construções; Fundações.	Acesso ao site criado por Cunha (2016)	Cunha (2016)
	Interação com ambiente virtual	CAVE		“Projeto”	História das artes e da estética; Conceber projetos de arquitetura, Urbanismo e paisagismo; Habilidades para realizar construções considerando custo, durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Planejamento urbano e regional; Urbanismo e desenho urbano; Sistemas de infraestrutura e de trânsito; Planos de intervenção no espaço urbano, metropolitano e regional	Revit, COVISE e OpenCOVER	Kieferle e Woessner (2015)
	Visualização do modelo e do projeto			“Projeto”	Conceber projetos de arquitetura; Habilidades para realizar construções considerando durabilidade, manutenção, especificações, regulamentos legais e acessibilidade dos usuários; Urbanismo e desenho urbano.	Acesso ao site criado por Cunha (2016)	Cunha (2016)

Fonte: Autor

Ao observar os quadros nota-se uma variedade de recursos tecnológicos, proporcionados pelas TICs, que podem ser utilizadas pelo professor. Percebe-se o recurso tecnológico ‘visualização do modelo e do projeto’ pode ser utilizado por mais de uma TIC: BIM, RV, PR/FD e BIM com RV.

Por fim, através da apresentação das TICs e com todos os recursos tecnológicos e alternativas que elas oferecem, pondera-se que o uso de TICs em sala de aula pode viabilizar um trabalho colaborativo/integrado entre professores de diferentes áreas em uma mesma disciplina. Consequentemente, isso proporciona uma integração de disciplinas e de saberes do curso de arquitetura e urbanismo.

5.8 Considerações sobre o capítulo

Este capítulo apresentou possibilidades pouco exploradas de utilização de diferentes Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo. De acordo com Rodrigues, Pinto e Rodrigues (2010, p. 81), “muitos estudos mostram que os estudantes aprendem mais quando diversas técnicas de ensino são utilizadas e que alguns alunos respondem melhor a determinada metodologia de ensino”. Por isso, acredita-se que a inserção de tecnologia no ensino de arquitetura deve ocorrer de forma híbrida, ou seja, deve haver uma mesclagem entre métodos tradicionais de ensino com métodos utilizando tecnologia, uma vez que cada conteúdo possui uma particularidade e, por vezes, o método mais eficiente é o tradicional, enquanto outros conteúdos podem ser explorados de forma mais criativa utilizando tecnologia. Desse modo, a tecnologia pode ser utilizada para suprir limitações e falhas do método tradicional de ensino. A decisão de quais conteúdos podem ser ensinados com TIC deve partir do professor, já que sua familiaridade com as TICs e o tempo disponível para o desenvolvimento de novas atividades em sala, entre outros aspectos, vão influenciar diretamente na escolha do docente. Entretanto, esse capítulo serviu para evidenciar que existem diversas formas pouco exploradas pelo professor de utilizar tecnologia no ensino e, assim, contribuir e incentivar seu uso no meio acadêmico.

Para os docentes incluírem tecnologia no planejamento do ensino, deve-se levar em consideração os aspectos apontados na seção 2.3 que são: a experiência e habilidade do professor com uso da tecnologia; tempo disponível para planejamento e seleção das estratégias de ensino; ter conhecimento das escolas pedagógicas e refletir *quando, para que e a quem* ele servirá; avaliar o acesso dos alunos à tecnologia, principalmente quando a atividade didática indicar o uso da tecnologia pelo aluno fora da faculdade; selecionar a TIC que contribuirá para atingir os objetivos da disciplina; ter clareza de qual(is) atitude(s), habilidade(s) e conhecimento(s) pretende desenvolver no

aluno; e, por fim, conhecimento da aplicabilidade da ferramenta no contexto da disciplina e suas limitações.

Pesquisas apontam benefícios no uso de tecnologia no ensino. Sobre esse assunto, Checcucci (2014, p. 208) assinala que a utilização de BIM no processo de ensino-aprendizagem:

- a) amplia a capacidade cognitiva dos alunos e os estimula a trabalhar com projetos complexos;
- b) melhora a visualização espacial e a compreensão do espaço e da edificação e fornece mais recursos para a tomada de decisões e a resolução de problemas;
- c) facilita a aprendizagem de conteúdos de engenharia;
- d) potencializa as capacidades cerebrais ao dar apoio aos processos cognitivos, como a lembrança e memória; a atenção; o planejamento e a antecipação; o reconhecimento, a interpretação e a compreensão;
- e) facilita a explicitação do conhecimento sobre a edificação, promovendo o desenvolvimento da atenção, do raciocínio e da criatividade.

Da mesma forma, Rodrigues, Pinto e Rodrigues (2010, p. 87) expressam que a inserção de RA e RV no ensino “possibilita uma educação de forma dinâmica, criativa, colocando o aluno no centro dos processos de aprendizagem e buscando a formação de um ser crítico, independente e construtor de seu conhecimento”.

Igualmente, Kosak (1993) e Wittenberg (1995 apud NETTO; MACHADO; OLIVEIRA, 2002, p. 29) indicam que “resultados obtidos do treinamento com o uso de RV são claramente superiores àqueles obtidos utilizando-se sistemas reais”. Da mesma forma, Pantelidis (1995 apud GRILLO et al., 2001p. 8) cita vantagens do uso de ambientes virtuais em educação:

- amplia a motivação do estudante;
- possibilita ilustrar mais precisamente algumas características, processos, etc.;
- permite a observação do objeto ou ambiente virtual de pequenas ou grandes distâncias;
- fornece a oportunidade para melhor compreensão do objeto de estudo;
- permite que o aluno proceda através da experiência no seu próprio ritmo;
- não restringe o prosseguimento das experiências ao período de aula regular;
- oferece a possibilidade de aprendizado de novas tecnologias;
- requer interação, ou seja, encoraja a participação ativa em vez de passiva.

Estas vantagens apoiam as teorias atuais que afirmam que alunos dominam e assimilam melhor novos conceitos quando estes participam ativamente na construção deste conhecimento através de experimentos (YOUNGBLUT, 1997).

De forma semelhante, para Tramontano (2016 apud BORGES, 2016b, p. 89) a incorporação de PR no ensino

implica em mudanças de postura didático-pedagógicas, projetuais, arquitetônicas e construtivas. Os alunos passam a compreender relações múltiplas entre processos de projeto e produção, já que a modelagem física e a preparação para fabricação, produção e montagem antecipam questões produtivas, construtivas e de organização da obra.

Conforme visto, o uso de BIM, RA, RV, PR e FD oferecem muitas vantagens na incorporação de tecnologia no ensino. Contudo, apesar das alternativas oferecidas, o professor é mobilizado por paradigmas falsos em relação à tecnologia e sua aplicação prática. E ainda tem dificuldade em usar as TICs na prática cotidiana e, acima de tudo, apropriá-las para o uso didático (ROSA, 2013 apud LEAL; SALGADO; SILVOSO, 2018).

Com relação as possibilidades tratadas nesse capítulo, verificou-se que as TICs (BIM, RA, RV, PR e FD) podem ser aplicadas em todos os campos obrigatórios do currículo de graduação de arquitetura e urbanismo. Da mesma forma, constatou-se que todos os conteúdos de cada categoria foram ao menos uma vez citados como possibilidade de utilização pela tecnologia, seja no capítulo 4 ou 5. Assim, pode-se afirmar que BIM, RA, RV, PR e FD podem contribuir para o ensino dos diversos campos obrigatórios do curso de arquitetura e urbanismo.

Pode-se observar ao longo do capítulo que algumas das experiências didáticas apresentadas demandaram equipamentos especiais para realizar certas atividades acadêmica, em compensação, outras experiências utilizaram equipamentos que estão disponíveis aos professores em grande parte das instituições como computador, projetor, tela de projeção, *smartphone* e *softwares* gratuitos, com licença estudantil ou que a universidade já dispõe. Com isso, pondera-se que dependendo da TIC e da atividade que o professor deseja desenvolver com seus alunos, algumas aplicações de tecnologia já são acessíveis aos docentes, enquanto outras TICs e atividades podem demandar uma reavaliação da infraestrutura dos ambientes escolares e de investimentos em equipamentos e/ou *softwares*. Da mesma forma, vale atentar à necessidade de comprometimento do projeto pedagógico das universidades, que deve explorar as alternativas oferecidas e considerar o investimento nos equipamentos necessários à inclusão digital dos estudantes de arquitetura - independente do seu poder aquisitivo e/ou da capacidade do docente em fornecer tais alternativas.

Da mesma forma, no momento em que os professores passam a utilizar TICs em suas práticas pedagógicas, cria-se a viabilidade de reintegrar disciplinas do curso de graduação. Essa reintegração ocorre a partir da exploração de uma única tecnologia por professores de diferentes disciplinas oferecendo análises de um mesmo objeto arquitetônico por ângulos que envolvem conteúdos de diversas áreas, como “história”, “projeto”, “conforto ambiental”, “construção” e “geometria”. Como resultado, será possível realizar uma revisão no projeto pedagógico, uma vez que grande parte dos cursos estão estruturados em disciplinas estanques de forma a viabilizar o trabalho integrado e colaborativo desde a sala de aula.

Vale lembrar que essa pesquisa não esgotou todas as possibilidades de integração das tecnologias nas áreas de conhecimento de arquitetura e urbanismo, uma

vez que a integração de TICs oferece uma experiência de aprendizagem mais profunda à medida que abrem novas oportunidades/maneiras de apropriação de conhecimento. E conforme o professor se apropria do conhecimento de uma determinada TIC, também surgem novas ideias de utilização delas no ensino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa dissertação abordou a incorporação de Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Como o foco da pesquisa era o docente, o estudo apresentou diversas alternativas que podem ser adotadas de forma didática pelos docentes universitários no ensino das diferentes áreas do saber da arquitetura e urbanismo usando tecnologias, especificamente, BIM, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), Prototipagem Rápida (PR) e Fabricação Digital (FD).

A partir de uma Revisão Sistemática de Literatura, realizou-se um levantamento de experiências didáticas usando TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo. Com isso, exibiu-se um panorama de possibilidades que já foram empregadas no âmbito educacional por professores. Com base no que foi visto e no universo pesquisado todas as TICs (BIM, RA, RV e PR/FD) foram utilizadas em experiências didáticas como um meio de ensinar os conteúdos de arquitetura e urbanismo, com exceção da categoria “história”. E foi constatado que o uso de TICs em certas categorias é mais evidente do que outras. Vale destacar que a existência de experiências didáticas demonstra que há interesse em dialogar sobre a interseção entre as áreas de ensino de arquitetura e urbanismo e Tecnologias de Informação e Comunicação.

Tomando como base as informações do capítulo 2, 3 e 4, a pesquisa também apresentou possibilidades pouco exploradas de uso de TICs no ensino de arquitetura e urbanismo. Com relação aos conteúdos das cinco categorias abordadas, nota-se que todos os assuntos podem ser tratados por meio de tecnologias digitais. De acordo com o que foi apresentado, concluiu-se que as TICs podem ser utilizadas pelo professor em sala de aula para tratar sobre conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Além do desejo do docente de conhecer as tecnologias, cabe ressaltar que dependendo da TIC, do conteúdo e da atividade acadêmica que o professor pretende realizar, talvez seja necessário realizar investimentos em equipamentos e na infraestrutura das salas de aula e do ambiente acadêmico como um todo. Pois, conforme visto, algumas tecnologias demandam investimentos com relação a esses aspectos, mas outras são acessíveis aos professores com a estrutura que a universidade já disponibiliza.

Da mesma forma, seria desejável que a administração do curso de graduação também crie condições para que essas tecnologias sejam adotadas em sala de aula

com máxima eficiência. Algumas delas dependerão de ajustes na estrutura de funcionamento da sala de aula.

Outro aspecto a ser considerado é que as alternativas oferecidas pela adoção de tecnologias em sala de aula levam a uma reintegração entre os saberes na formação do profissional da área. Isso, por sua vez, possibilita uma revisão do projeto pedagógico institucional de modo que o curso de arquitetura volte a ser ensinado de forma integrado ao invés de ser dividido em disciplinas, como acontece na maioria das instituições.

Acredita-se que um ensino híbrido (com e sem tecnologia) seria o mais adequado para aproveitar a habilidade tecnológica desses alunos que nasceram na era digital, mas também com um meio de aproximar as atividades desenvolvidas fora da faculdade - uso intenso de tecnologia - com as atividades dentro da faculdade - pouco uso de tecnologia.

As propostas sugeridas na pesquisa não demandam alterações na grade curricular do curso, apenas exige uma qualificação do professor em relação às tecnologias a fim de incorporar as possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias em suas práticas didáticas. Adicionalmente, as alternativas apresentadas neste documento utilizaram como base o currículo obrigatório definido pelas Diretrizes Curriculares de 2010, contudo, as propostas também podem ser implementadas e adaptadas em currículos de outros países. Isso porque a proposta parte do princípio de que os professores podem usar o potencial oferecido pelas tecnologias no ensino dos principais conteúdos relacionados à arquitetura e urbanismo, sem a necessidade de alterar o currículo do curso, o que torna mais simples sua aplicação.

Uma das intenções de estimular o uso de tecnologias na sala de aula é trazer benefícios para os alunos que são capazes de entender os conteúdos ensinados com mais facilidade. Mas também suscita o interesse nos estudantes a aprender essas tecnologias que fazem parte da vida cotidiana da sociedade. Desta forma, entende-se que a adoção de práticas didáticas por professores que exploram as possibilidades das tecnologias na sala de aula trata de uma das estratégias para divulgar a inovação entre os futuros arquitetos. Portanto, as TICs podem ser de grande valor no processo didático na sala de aula e também como forma de encorajar os alunos a usá-los.

Vale salientar que as alternativas tecnológicas apresentadas nessa dissertação devem ser utilizadas considerando não apenas o tempo que se gastará em qualificação e mudança do planejamento da disciplina, mas principalmente os resultados positivos que produzirão no aprendizado do aluno. Desse modo, acredita-se que a presença de TICs na vida acadêmica e profissional do arquiteto faz-se necessária e a prática de ensinar deve acompanhar a evolução da sociedade. Com isso, as universidades precisam desenvolver as atribuições que os futuros profissionais necessitam para a

prática profissional. E pressupõe-se que a incorporação dessas tecnologias pelos docentes no ensino de disciplinas pode contribuir para preparar esses profissionais para o mercado de trabalho.

Com isso, considera-se que a adoção de tecnologias no ensino de arquitetura e urbanismo abre novos caminhos que ainda não foram trilhados pelos docentes. Assim, espera-se que esta dissertação estimule a instituição e os professores a perceberem as múltiplas potencialidades e possibilidades de uso das Tecnologias de Informação e Comunicação em diferentes áreas do curso de arquitetura e urbanismo.

Validação dos objetivos e das questões da pesquisa

A pesquisa traçou como objetivo geral: explorar possibilidades oferecidas pelas Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino de arquitetura e urbanismo. Esse objetivo foi atingido no desenvolvimento dos capítulos 4 e 5 na medida que foram propostos aos professores diferentes caminhos e oportunidades de incorporação de tecnologia no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Além disso, também foram delimitados os seguintes objetivos específicos: (a) investigar a estruturação curricular do curso de arquitetura e urbanismo com base na legislação; (b) identificar e caracterizar as Tecnologias de Informação e Comunicação em arquitetura e urbanismo que se destacam no cenário da 3ª e 4ª Revoluções Industriais; (c) investigar as possibilidades já exploradas de uso de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo; (d) apresentar potencialidades ainda pouco exploradas de uso das TICs no ensino.

O objetivo (a) foi alcançado no capítulo 2. O objetivo (b) foi obtido no capítulo 3, enquanto os objetivos (c) e (d) foram conquistados nos capítulos 4 e 5, sucessivamente.

Na dissertação também foram levantadas duas questões para o desenvolvimento da pesquisa, são elas: (1) de que forma as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) podem ser incorporadas pelos professores em diferentes áreas do conhecimento dos cursos de graduação de arquitetura e urbanismo?; (2) as TICs podem ser introduzidas no ensino de todas as áreas obrigatórias do curso de arquitetura e urbanismo?

As questões (1) e (2) foram respondidas ao longo dos capítulos 4 e 5. Com relação à questão (1), o capítulo 4 respondeu essa pergunta ao apresentar experiências didáticas que incorporaram TICs no ensino, enquanto o capítulo 5 respondeu ao exibir possibilidades ainda pouco exploradas de uso de tecnologia no ensino.

A respeito da questão (2), os resultados do capítulo 3 mostraram que no cenário analisado não foram encontrados casos de uso de TICs no ensino dos conteúdos de “história”, ao passo que os outros campos da arquitetura foram explorados pelas TICs.

Contudo, a realidade virtual foi a TIC que apresentou menos exemplos de aplicação no ensino. No desfecho do capítulo 5, verificou-se que existe a possibilidade de todas as TICs (BIM, RA, RV e PR/FD) serem aplicadas ao ensino de cada área do curso de arquitetura e urbanismo respondendo, assim, à questão (2).

Benefícios para os professores e alunos

Durante a pesquisa foi possível identificar potencialidades na implementação de TICs no ensino de arquitetura e urbanismo. Entre as potencialidades percebe-se que: (a) os alunos ficam mais motivados e interessados no ensino com tecnologia; (b) a RA e RV possibilitam melhor compreensão das questões ensinadas ao sobrepor informações virtuais no mundo real, que elas estão habituadas; (c) acredita-se que a aprendizagem por meio de aplicativos ou ferramentas ajuda os estudantes a relacionar tópicos teóricos e abstratos com problemas do mundo real.

Além disso, existem outras vantagens do ensino de TIC na graduação tanto para os alunos quanto para a academia e a indústria AEC. Os alunos vão para o mercado de trabalho preparados para as tendências tecnológicas que estão surgindo, além de instigar seu uso no meio acadêmico e profissional. Ao utilizar TIC no ensino, a academia produz profissionais capacitados e permite o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o tema, já que surgem novos desafios a serem estudados quando uma nova atividade é iniciada. Com mão de obra especializada disponível no mercado, a indústria da construção civil passa a ter chances de implementar com mais intensidade as tecnologias, melhorando a qualidade das construções.

Outro aspecto a ser considerado é que a tecnologia causa interesse e curiosidade no aluno. Seu uso oferece incentivo à aprendizagem, uma vez que a interação com a tecnologia pode proporcionar uma experiência de aprendizagem mais prazerosa, o que motiva o aluno e, como consequência, motiva o professor que, por sua vez, torna o ensino mais prazeroso.

Barreiras a serem enfrentadas pelos docentes

Por outro lado, também são observadas barreiras a serem superadas pelos professores, são elas: (1) dificuldade de recursos financeiros destinados a tecnologia; (2) adequação do projetos pedagógicos, que reverão a forma de ensinar arquitetura a partir da compreensão dos benefícios que as TICs podem trazer para o ensino; (3) seria importante a instituição promover políticas de incentivo ao uso de tecnologia; (4) seria importante a instituição promover a formação e o treinamento de professores para aprenderem a utilizar diferentes *softwares* e equipamentos eletrônicos; (5) o ambiente escolar e as salas de aula devem possuir infraestrutura adequada para atender às

necessidades dos professores e alunos que utilizam tecnologia; (6) o professor precisa de tempo na concepção metodológica em torno de um novo experimento que utiliza TIC; (7) também requer tempo para desenvolver um novo material pedagógico; (8) o professor precisa aprender sobre programação para desenvolver atividades com RA; (9) haverá resistência em alguns professores que estão convencidos de suas práticas didáticas e muitas vezes têm dificuldades em incorporar as inovações em suas aulas.

Contudo, acredita-se que se houver uma convergência de interesses entre a instituição e os professores uma parte das barreiras podem ser superadas. Com relação às dificuldades relacionadas apenas aos professores, estima-se que elas possam ser vencidas através de um esforço interdisciplinar entre docentes para definição de experimentos, aplicação em sala de aula e uso de novas ferramentas, tornando mais simples e viável a incorporação de TICs pelo professor. Além disso, uma vez desenvolvida a metodologia de aprendizagem e a ferramenta, mudanças são fáceis de serem efetuadas.

Domínio das TICs e ferramentas

Por meio da análise das experiências didáticas foi possível verificar o domínio das TICs e das ferramentas que o professor precisa ter para ensinar conteúdos de arquitetura e urbanismo. Observou-se que o professor precisa de algum conhecimento sobre a plataforma BIM, enquanto é necessário dominar a ferramenta que será utilizada em sala de aula. Isso ocorre porque para lecionar o docente precisa, principalmente, ter domínio do *software* que será utilizado por ele ou pelo aluno em aula, enquanto apenas é necessário dispor de algum conhecimento de BIM para compreender como o programa se articula dentro do conceito da plataforma. Essa percepção pode incentivar a adoção da plataforma BIM pelos professores. O mesmo ocorre com a prototipagem rápida que demanda principalmente conhecimento para manipular os *softwares* de elaboração dos modelos e impressão na máquina.

Com relação a realidade aumentada e virtual, verifica-se o cenário oposto ao que ocorre com a plataforma BIM. Esse fato se dá pela facilidade de manipulação de aplicativos e ferramentas de RA e RV, que na maioria das vezes são intuitivos. Em contraposição, a confecção do aplicativo, principalmente a produção inicial, requer conhecimento em programação para adaptar um modelo ou informação ao cenário desejado. Contudo, pequenas modificações ou revisões são facilmente realizadas por uma pessoa com pouquíssimo conhecimento em programação. Logo, se a criação do aplicativo for realizado em conjunto com um profissional familiarizado com programação, o docente não terá grande dificuldade de elaborar a atividade didática.

Contribuições da pesquisa

A dissertação apresentou alternativas de uso de TICs - disponíveis até dezembro de 2017 e acessíveis aos docentes - no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo, a partir da consolidação dos resultados de publicações que se encontram nas principais fontes de busca de relevância para a área da Arquitetura e Urbanismo com relação à TIC. Isto evidencia a quantidade de mudanças que podem ocorrer dentro da sala de aula se o professor se apropriar das ferramentas digitais que já existem e se a instituição e a coordenação apoiarem essa proposta.

Além disso, a pesquisa demonstra que as Tecnologias de Informação e Comunicação podem interferir no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo de uma forma diferente daquela que vem sendo usualmente explorada em sala de aula. Pois, através do professor ministrando qualquer disciplina do curso de arquitetura e urbanismo com TIC, este professor funcionará como um vetor que gera no aluno o interesse de estudar determinada tecnologia ou ferramenta, uma vez que o aluno aprenderá o conteúdo por meio de uma tecnologia.

Adicionalmente, as possibilidades apresentadas podem ser aplicadas a qualquer curso de graduação de Arquitetura e Urbanismo, sejam cursos novos ou em andamento, uma vez que a proposta é de estimular os professores, assim como a instituição e a coordenação do curso, a incorporarem tecnologias na disciplina e não alterar a composição curricular do curso. Além disso, a inserção de TICs pode ser feita em todas as áreas de conhecimento da grade curricular, estimulando assim um ensino mais dinâmico.

Limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros

Essa dissertação não visou esgotar todas as possibilidades de integração das TICs nas práticas didáticas dos professores do curso de arquitetura e urbanismo, e sim apresentar exemplos de êxito e possibilidade ainda pouco exploradas, particularmente no uso de BIM, RA, RV e PR/FD, em sala de aula, uma vez que o tema é abrangente e a autora não teve acesso a todas as experiências realizadas. Além disso, a tecnologia avança rapidamente e, dessa forma, ligeiramente surgem novas oportunidades de aplicação de TICs no ensino. Contudo, demonstrou-se uma grande variedade de alternativas de utilização dessas tecnologias, que estão disponíveis e acessíveis aos docentes. Ressalta-se mais uma vez que os quadros apresentados nos capítulos 4 e 5 refletem possibilidades de uso de TICs até o final de 2017. E devido a rapidez com que as novas tecnologias e *softwares* são desenvolvidos e atualizados, a realização de uma tabela definitiva sobre essas informações fica impedida, já que os dados se tornam obsoletos muito rapidamente.

Existem várias possibilidades ainda pouco exploradas de uso de TICs no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo que seriam motivo de outra pesquisa de mestrado ou doutorado, pois as possibilidades são infinitas ao passo que as tecnologias digitais continuam avançando e a medida que surgem novas ideias de aplicação no ensino quando ocorre a apropriação da tecnologia. Inclusive a categoria “história” deveria ser mais explorada pelo uso de tecnologia.

Além disso, outra sugestão para trabalhos futuros seria verificar como tecnologias não incluídas nessa dissertação - como a internet das coisas, inteligência artificial, *design thinking*, cultura *maker*, entre outras TICs - podem ser incorporadas no ensino dos conteúdos de arquitetura e urbanismo.

Por fim, espera-se que essa dissertação tenha trazido uma contribuição significativa para a melhoria do ensino de arquitetura e urbanismo e, ao mesmo tempo, possa aguçar o interesse nos docentes em explorar as possibilidades apresentadas nessa pesquisa. Pois, se por um lado o uso de tecnologia incentiva os estudantes durante a aprendizagem, por outro lado, a tecnologia também pode estimular os professores na medida em que terão novas formas de apresentar os conteúdos do curso para os alunos. Do mesmo modo, almeja-se que a partir das possibilidades levantadas na dissertação, os docentes possam se motivar ainda mais pela atividade em sala de aula e pela própria atividade docente.

REFERÊNCIAS

- ABEA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO. **Proposta de alteração da Resolução CNE/CES nº 2/2010 que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo**. 2014. Disponível em: < http://www.abea.org.br/wp-content/uploads/2014/02/Proposta_Altera_Diretrizes.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- ALECRIM, Emerson. **O que é cloud computing (computação nas nuvens)?** 4 mar. 2015. Disponível em: <<https://www.infowester.com/cloudcomputing.php>>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- ALWAN, Zaid; HOLTGATE, Peter; JONES, Paul. Applying BIM to Sustainable Performance Evaluation in Design Projects: An Educational Approach for Architecture Programmes. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 32., 2014, Newcastle. **Proceedings...** UK: Northumbria University, 2014. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/eacaade2014_105.content.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2017.
- AMBROSE, Michael A. Agent Provocateur: BIM in the academic design studio. **International Journal of Architectural Computing**, v. 10, n. 1, p. 53-66, 2012.
- AMIM, Rodrigo R. **Realidade aumentada aplicada à arquitetura e urbanismo**. 2007. 120f. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.
- AMORIM, Claudia N. D. et al. Projeto ambiental integrado: os desafios do ensino de arquitetura. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC*, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2008.
- ANDRADE, Laert dos S.r; GOULART, Shane A. S.; DE LA CRUZ, Paul C. H. O uso da realidade aumentada como ferramenta de ensino em expressão gráfica. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, GRAPHICA*, 12. 2017. **Proceedings...** Araçatuba(SP) UNIP, 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/graphica2017>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
- ANDRADE, Max. Prototipagem rápida. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p.164-165.
- ANDRADE, Max L. V. X. **Projeto performativo na prática arquitetônica recente: Estrutura Conceitual**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ÂNGELO, Sérgio C.; ZORDAN, Sérgio E.; JOHN, Vanderley M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- ARCOWEB. **Cinco novas funções na arquitetura criadas pela tecnologia**. Set. 2015. Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/noticias/tecnologia/cinco-novas-funcoes-arquitetura-criadas-pela-tecnologia>>. Acesso em: 19 abr. 2017
- ASBEA. **Guia AsBEA boas práticas BIM**. v. 2. s.c.: s.e., 2015
- ASSIS, Jonas H. G. de; BROCHARDT, Mikael M. de S.; ANDRADE, Max L. V. de. Aplicações de Realidade Aumentada no canteiro de obras: proposta de utilização na visualização de projetos de instalações para a execução. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI*, 20., 2016, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: 2016. p. 662-667.
- AUTODESK. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products>>. Acesso em: 09 mai. 2017.
- BANDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70 Ida, 1977.
- BARAZZETTI, Luigi et al. Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans. **Simulation Modelling Practice and Theory**. v. 57, p. 71-87, set. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X15000994>>. Acesso em 13 jan. 2017.
- BARISON, Maria B.; SANTOS, Eduardo T. Ensino de BIM: tendências atuais no cenário Internacional. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.6, n.2, p.67-80, dez. 2011.
- BARRETO, Mônica M.; SALGADO, Mônica S. O ensino de arquitetura e a metodologia prática na produção do conhecimento na FAU/UFRJ. *In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 4., 3., 2001. São Pedro. **Anais...** São Paulo: s/ed., 2001.
- BASTO, Priscilla E. de A; LORDSLEEM JUNIOR, Alberto C. O ensino de BIM em curso de graduação em engenharia civil em uma universidade dos EUA: estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 45-61, out./dez. 2016. Disponível em:

<<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/64069/38281>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

BEHZADAN, Amir H; VASSIGH, Shahin; MOSTAFAVI, Ali. Teaching millennials with augmented reality: cases from the U.S. education system. **PARC Research in Architecture and Building Construction**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 265-272, dec. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8649284>>. Acesso em: 08 ago. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i4.8649284>.

BENTLEY. **AECOsim Building Designer**. Disponível em: <<https://www.bentley.com/pt/products/product-line/building-design-software/aecosim-building-designer>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

BERTAGNOLLI, Sílvia de C. **Impacto dos computadores na sociedade**. 1997. Disponível em: <<http://www-usr.inf.ufsm.br/~cacau/elc202/impacto.html>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

BLANCO, Mirian. **Linha do Tempo**. In: PINI, ago. 2008. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/85/artigo281409-1.aspx>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

BLUEBEAM. **Bluebeam Revu**. 2018. Disponível em: <<https://www.bluebeam.com/solutions/revu>>. Acesso em: 25 jan. 2018

BORGES, Letícia de F. et al. A representação de gradis metálicos como atividade didática uma conexão entre patrimônio, geometria e tecnologias de fabricação digital. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, GRAPHICA*, 11., 2015, **Proceedings...** Porto: APROGED, 2015. v. 2. p. 319-328.

BORGES, Marcos M. O uso de modeladores tridimensionais paramétricos na formação de competências de representação gráfica e raciocínio espacial no processo de projeto. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 21-37, jan./jun. 2016a.

BORGES, Marina F. Fabricação digital no Brasil e as possibilidades de mudança de paradigma no setor da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 79-91, out./dez. 2016b.

BRAGA, Robson F. et al. Estudo comparativo de toolkits de Realidade Virtual e Aumentada visando aplicação educacional. *In: WORKSHOP DE DESAFIOS DA COMPUTAÇÃO APLICADA À EDUCAÇÃO*, Desafie, 2012. **Anais...** 2012. p. 138-147. Disponível em: <<http://br-ie.org/pub/index.php/desafie/article/view/2784>>. Acesso em: 02 mai, 2017.

BRAIDA, Frederico et al. A produção de maquetes para ensaios em laboratório de conforto ambiental na UFJF. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 15., 2014. Maceió. **Anais...** Maceió, AL: Marketing Aumentado, 2014. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_563.pdf>. Acesso em: set. 2017

BRANDÃO, Carlos A. L. Por que estudar história da arquitetura? **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo, v. 19, n. 32, p. 26-36, dez. 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/52453/56445>>. Acesso em: 21 feb. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.378, de 31 de dezembro de 2010**. Regulamenta o exercício da Arquitetura e Urbanismo; cria o Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil – CAU/BR – e os Conselhos de Arquitetura e Urbanismo do Estados e Distrito Federal – CAUs; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/L12378.htm>. Acesso em: 10. fev. 2017.

BRAZ, Zoleni L. **Novas mídias no ensino de arquitetura e urbanismo: relação entre tecnologias, espaço e pedagogias**. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2016.

BRIGITTE, Giovanna T. N. **Integração de desempenho na avaliação de projeto: modelo de informação e simulação computacional na etapa de concepção**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

BRIGITTE, Giovanna. T. N.; RUSCHEL, Regina. C. Modelo de informação da construção para o projeto baseado em desempenho: caracterização e processo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 9-26, out./dez. 2016.

BUILDINGSMART. **About buildingSMART**. 2016a. Disponível em: <<http://buildingSMART.org/about/about-buildingSMART/>>. Acesso em: 23 de jun. 2016.

_____. **All applications by category**. 2016b. Disponível em: <<http://www.buildingsmart-tech.org/implementation/implementations>>. Acesso em: 25 de jan. 2018.

CANUTO, Cristiane L. **Modelo BIM e proposta de intervenção no Palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro – RJ**: pela preservação digital do patrimônio moderno. 2017. 175f. Dissertação (Mestrado profissional em projeto e patrimônio) – PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CANUTO, Cristiane L.; MOURA, Larissa R. de; SALGADO, Mônica S. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 252-264, dez. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647456>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

CAREGNATO, Rita C. A.; MUTTI, Regina. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. **Texto & Contexto Enfermagem**, Florianópolis, 2006, v. 15, n. 4, p. 679-84. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/tce/v15n4/v15n4a17>>. Acesso em: 30 abr. 2017.

CARVALHO, Agenor M. de. O impacto da tecnologia no mercado de trabalho e as mudanças no ambiente de produção. **Revista Evidência**, Araxá, n. 6, p. 153-172, 2010.

CARVALHO, Bruno S. et al. Planejamento para construções modulares por meio de BIM e prototipagem rápida – PMCON. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 2017, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC.2017. p. 1-14.

CARVALHO, Ramon S. de; SAVIGNON, Affonso P. de. O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v. 6, n. 2, p. 04-13, jan. 2012.

CASTILHO, José R. F. **Legislação profissional da arquitetura**. São Paulo: Editora Pillares, 2014a.

_____. **O arquiteto e a lei: elementos de direito da arquitetura**. 2 ed. São Paulo: Editora Pillares, 2014b.

CASTRO, Marcos da F. et al. O Brasil – universidade, projetistas, arquitetos, engenheiros – está preparado para o BIM? **au**. e. 208, jul. 2011. <<http://au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/o-brasil-universidades-projetistas-arquitetos-engenheiros-esta-preparado-224289-1.aspx>>. Data de acesso: 22 jun. 2015.

CAU/BR – CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. **Resolução nº 51, de 12 de julho de 2013**. Dispõe sobre as áreas de atuação privativas dos arquitetos e urbanistas e as áreas de atuação compartilhadas com outras profissões regulamentadas, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.cau.br.gov.br/resolucoes/>>. Acesso em: 10. fev. 2017.

ÇAVUŞOĞLU, Ömer H. The position of BIM tools in conceptual design phase: parametric design and energy modeling capabilities. In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_170.content.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Fundamentos BIM – Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016a. 124 p.

_____. **Colaboração e integração BIM – Parte 3: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016b. 124 p.

CELANI, Gabriela. Além da avaliação energética e ambiental nas etapas iniciais do processo de projeto. **PARC Research in Architecture and Building Construction**, Campinas, SP, v. 3, n. 2, out. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634568>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

CELANI, Gabriela et al. Integração de tecnologias CAD/CAE/CAM no ateliê de arquitetura: Uma aplicação no projeto de edifícios altos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v.12, n.1, p. 29-52, 2017.

CELANI, Gabriela; BERTHO, Beatriz C. A prototipagem rápida no processo de produção de maquetes de arquitetura. In: GRAPHICA, 2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2007. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~lapac/papers/celani-bertho-2007.pdf>>. Acesso em: 13 abril. 2017.

CELANI, Gabriela; FRAJNDLICH, Rafael U. de C. From prototypical to prototyping: mass-customization versus 20th century utopias in architecture and urban design. **PARC Research in Architecture and Building Construction**, v. 7, n. 3, p. 160-169, out. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647348/15223>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

CENAFOR. **Curso de atualização pedagógica para coordenadores e especialistas**. SENAFOR: São Paulo, 1998.

CHECCUCCI, Érica de S. **Ensino-aprendizagem de BIM nos cursos de graduação em engenharia civil e o papel da expressão gráfica neste contexto**. 2014. Tese (Doutorado) - *Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Educação, Salvador*.

CHECCUCCI, Érica de S.; AMORIM, Arivaldo L. de. O paradigma BIM: competências necessárias para sua inserção em cursos de engenharia civil. **Livro Relatório**, Rede BIM Brasil, n. 3. 2013.

- _____. Método para análise de componentes curriculares: identificando interfaces entre um curso de graduação e BIM. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 5, n. 1, jan./jun. 2014. Disponível em: <<http://periodicos.bc.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634540>>. Data de acesso: 18 jan. 2016.
- CHECCUCCI, Érica de S.; AMORIM, Arivaldo L. de; PEREIRA, Ana Paula C. Modelagem da Informação da Construção (BIM) no ensino de arquitetura. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL*, SIGRADI, 17., 2013, Valparaíso. **Proceedings...** Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013.
- COHEN, Jean-Louis. **O futuro da arquitetura desde 1898**: uma história mundial. São Paulo: Cosac Naify, 2013. 528 p.
- CONSTRUCT. **Inovação na construção civil**: 7 novidades que você precisa conhecer. ago. 2016. Disponível em: <<https://constructapp.io/pt/inovacao-na-construcao-civil-7-novidades-que-voce-precisa-conhecer/>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- COOPER, Harris; HEDGES, Larry; VALENTINE, Jeffrey. **The handbook of research synthesis and meta-analysis**. United Kingdom: Russell Sage Foundation Publications. 2009. Cap. 1, p. 1-14.
- CORREA, Kathia; SALGADO, Mônica S.; SANTOS, Nilton; . Proposta de adoção da cultura Wiki na Gestão Colaborativa de Projetos de edificações. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 2011. p.759-768.
- COUTINHO, Iluska; SILVEIRA Jr., Potiguara M. da. **Comunicação**: tecnologia e identidade. Rio de Janeiro, Mauad X, 2007.
- CUNHA, Marco A. B. Preservação do patrimônio arquitetônico: reconstrução digital do CPA Balbina – Arq. Severiano Mario Porto. 2016. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- CUNHA, Marco A. B.; SANTOS, Eduardo R.; SALGADO, Mônica S. Reconstrução digital da Vila Balbina: preservando o projeto de Severiano Mario Porto. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*, 7., 2015, Recife. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- CUPERSCHMID, Ana R. M. Realidade aumentada. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p.168-169.
- CUPERSCHMID, Ana R. M.; FREITAS, Márcia R. de. Possibilidades de uso de realidade aumentada móvel para AEC. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 3., ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2013.
- CUPERSCHMID, Ana R. M.; GRACHET, Marina. G.; FABRÍCIO, Márcio M. Development of an Augmented Reality environment for the assembly of precast wood-frame wall from the BIM model. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 63-78, out./dez. 2016.
- CUPERSCHMID, Ana R. M.; RUSCHEL, Regina C.; MARTINS, Felipe A. Uso da realidade aumentada para visualização do modelo da edificação. *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO - TIC*, 5., 2011, Salvador. **Anais...** Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273318325_USO_DE_REALIDADE_AUMENTADA_PARA_VISUALIZACAO_DO_MODELO_DA_EDIFICACAO>. Acesso em: 01 mai. 2017.
- CYBIS, Luiz F.; SANTOS, Carlos C. J. dos. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada à indústria da construção civil. *In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, XXVII., 2000. **Anais...** Porto Alegre: 2000. Disponível em: <<http://www.ingenieroambiental.com/info/ciclodevida.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.
- DAVID, Priscilla L. D; FAUSTINI, Fabiana B.; FONTES, Maria Solange G. de C. Uso do software sketchup no ensino do conforto térmico. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN*, GRAPHICA, 12., 2017, São Paulo. **Proceedings...** Araçatuba: UNIP, 2017.
- DELATORRE, Vivian. **Potencialidades e limites do BIM no ensino de Arquitetura**: Uma proposta de implementação. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2014.
- DELBIN, Simone. **Inserção de simulação computacional de conforto ambiental de edifícios em ensino de projeto arquitetônico**: proposta de metodologia. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2006.

DIGIANDOMENICO, Dyego; LANDIM, Gabriele; FISCHER, Henrique. Trançado: recursos computacionais aplicados no processo de projeto de mobiliário urbano. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 12, n. 3, p. 47-58 2017.

DITZ, Christian T. **Novas tecnologias de informação e comunicação no ensino-aprend de conforto luminoso**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.

DOELLING, Max; NASROLLAHI, Farshad. Building performance modeling in non-simplified architectural design. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 30., 2012, Praga. **Proceedings...** República Checa: Czech Technical University in Prague, 2012. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2012_116.content.04662.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.

DRACH, Patrícia R. C.; VASCONCELLOS, Virgínia M. N. de; CORBELLA, Oscar D. Desenvolvimento de experimentos didáticos para visualização de vento: simulação experimental em túnel de vento e simulação computacional. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, ENTAC, 13., 2010, Canela. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2010.

DUARTE, Fábio. Arquitetura digital. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 28-29.

ELISEO, Maria A. et al. Visualização imersiva do patrimônio histórico: Um modelo espaço-temporal para o campus Mackenzie-Itambé. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI*, 13., 2009, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: s.e., 2009. p. 170-173.

EASTMAN, Chuck et al. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483 p.

FARIAS SEGUNDO, Manoel B. de A. **A informática e o ensino de projeto**: o caso das escolas paraibanas. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2010.

FAU-UFRJ - FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **História**. 2017a. Disponível em: <<http://www.fau.ufrj.br/a-fau/>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

_____. **Projeto Pedagógico**. 2017b. Disponível em: <<http://nova.fau.ufrj.br/uploads/71-Projeto%20Pedag%C3%B3gico.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2017.

FERRACANE, Martina F. Manufacturing the future: Industry 4.0. *In: ECIPE - European Centre for International Political Economy*, jun. 2015. Disponível em: <<http://ecipe.org/blog/manufacturing-the-future/>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

FLORIO, Wilson. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. *In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL*, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: 2007.

FONSECA, Ligiana P. G.; CARLO, Joyce C. Ferramentas didáticas para apoio às disciplinas da área de conforto ambiental. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, ENTAC, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2012. p. 695-699.

FREIRE, Márcia R.; TAHARA, Akemi; AMORIM, Arivaldo L. de. Investigação sobre ferramentas computacionais de avaliação do desempenho térmico apropriadas ao contexto BIM para aplicação em projetos de HIS. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: 2012. p. 3413-3418.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREITAS, Márcia R. de; RUSCHEL, Regina C. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. **ARQUITETURA REVISTA**, São Leopoldo, v. 6, n. 2, jul./dez, 2010. P. 127-135. Disponível: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/4553>>. Acesso: 25 jan. 2018.

GARBINI, Marcele A. L. **Proposta de modelo para implementação e processo de projeto utilizando a tecnologia BIM**. 2013. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso. 2013.

GIL, Antônio C. (1990). **Metodologia do ensino superior**. 4 ed., 9 reimpr. São Paulo: Atlas, 2015a. 128 p. _____. (2006). **Didática do ensino superior**. 1 ed., 9 reimpr. São Paulo: Atlas, 2015b. 304 p.

GONÇALVES, Marly de M. Ensinar perspectiva utilizando os meios digitais. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO*, 21., INTERNATIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS FOR ARTS AND DESIGN, 5., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora do CCE (Universidade Federal de Santa Catarina), 2013.

GRILO, Leonardo et al. **Possibilidades de aplicação e limitações da realidade virtual na arquitetura e na construção civil**. Universidade Federal de São Paulo, 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228522928_Possibilidades_de_aplicacao_e_limitacoes_da_realidade_virtual_na_arquitetura_e_na_Construcao_Civil>. Acesso em: 05 mai. 2017.

GU, Ning; JONES, Wyn M.; WILLIAMS, Anthony. Utilising digital design and rapid prototyping tools in design education. *In*: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, CAADRIA, 15., 2010, Hong Kong. **Proceedings...** Hong Kong: 2010. p. 249-258.

GUIA DA CARREIRA. **10 profissões que surgiram com a tecnologia**. s/d. Disponível em: <<http://www.guiadacarreira.com.br/profissao/profissoes-que-surgiram-com-a-tecnologia/>>. Acesso em: 18 abr. 2017

GUIMARÃES, Dilva; CABRAL, Paulo. **Significado de Tecnologia**. s/d. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/tecnologia-2/>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

IBE – INSTITUTO BRASILEIRO DE ENSINO. **Didática do Ensino Superior**: guia de estudo 1. s/d. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/18988142-Guia-de-estudo-1-didatica-do-ensino-superior-professor-a-adriana-maria-penna-instituto-brasileiro-de-ensino-didatica-do-ensino-superior.html>>. Acesso em: mar. 2017.

IMBRONITO, Maria Isabel; ALMEIDA, Eneida de. Mock-up de habitação: relação entre concepção, desenvolvimento e execução no ensino de projeto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 6, n. 4, p. 291-303, dez. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8641675>>. Acesso em: 18 nov. 2017.

ISHIDA, Celso Y. et al. Realidade aumentada: tecnologias inovadoras para o ensino em engenharia e arquitetura. **Percursos**, v. 15, n. 2, s.p., 2015.

JACQUES, Jocelise J. et al. Nova abordagem para o ensino de geometria descritiva básica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, COBENGE, 29., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: s.e., 2001. p. 417-422.

KASSEM, Mohamad; AMORIM, Sérgio R. L. de. **BIM Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia**. Brasília: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2015. Disponível em: <<http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

KELLER, Rodrigo; SCHREIBER, Jacques. GEO-3D: a realidade virtual como suporte ao ensino de geometria espacial. *In*: WORKSHOP BRASILEIRO DE REALIDADE VIRTUAL, WRV, 2., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Fundação Eurípedes de Marília, 1999. p. 182-193.

KIEFERLE, Joachim; WOESSNER, Uwe. BIM Interactive – About Combining BIM and Virtual Reality. *In*: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015. Disponível em: Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_329.content.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2017.

KITCHENHAM, Barbara. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. ver. 2.3. United Kingdom: 2007. Disponível em: <https://www.cs.auckland.ac.nz/~mria007/Sulayman/Systematic_reviews_5_8.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

KLOSOUKI; Simone S.; REALI, Kleivi M. Planejamento de ensino como ferramenta básica do processo ensino-aprendizagem. **UNICENTRO - Revista Eletrônica Lato Sensu**, São Paulo, ed. 5, p. 2-8, 2008. Disponível em: <http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/modulo_6/situacoes_de_aprendizagem/material_apoio/artigo_planejamento_ensino_como_ferramenta_basica.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2017.

KOS, José R. CAD (computer-aided design). *In*: BRAIDA, F. et al. **101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital**. São Paulo: ProBooks, 2016. p.42-43.

KUBICKI, Sylvain et al. 4D Modeling and Simulation for the Teaching of Structural Principles and Construction Techniques. *In*: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 30., 2012, Praga. **Proceedings...** República Checa: Czech Technical University in Prague, 2012. Disponível em: <https://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/ecaade2012_157.content.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2017.

KUO, Chyi-Gang et al. Mobile Augmented Reality for Spatial Information Exploration. *In*: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, CAADRIA, 9., 2004, Seoul. **Proceedings...** Korea: Institute of Millennium Environmental Design and Research, Yonsei University and The Korean

- Housing Association, 2004. Disponível em:
<<http://papers.cumincad.org/data/works/att/512caadria2004.content.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2017.
- KOWAL, Slawomir et al. Parametric methods in reconstruction of the medieval proto-town in Pultusk, Poland. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015.
- LEAL, Bianca M. F. Use of the BIM Platform in teaching contents of environmental comfort. *In: INTERNACIONAL ORGANIZATION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT ON CONSTRUCTION, OTMC*, 13., 2017, Porec, Croácia. **Proceedings...** Zagreb: Croatia Association for Construction Management, 2017. p. 524-556. Disponível em:
<http://docs.wixstatic.com/ugd/7f5190_a365862c25e74584bf97c37eba713373.pdf>. Acesso: 26 jan. 2018.
- LEAL, Bianca M. F.; SALGADO, Mônica S.; SILVOSO, Marcos M. Impact of fourth industrial revolution in architecture undergraduate course. *In: ZERO ENERGY MASS CUSTOM HOME, ZEMCH*, 2018, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: ZEMCH Network, 2018. p. 403-415.
- LEAL, Regina B. Planejamento de ensino: peculiaridades significativas. **Revista Iberoamericana de Educación**, Buenos Aires, p. 1-5. 2005. Disponível em:
<http://www.virtual.ufc.br/solar/aula_link/llesp/A_a_H/didatica_l/aula_03-0021/imagens/03/planejamento_ensino.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2017.
- LIMA, Alvaro J. R.; HAGUENAUER, Cristina J.; CUNHA, Gerson G. A realidade aumentada no ensino da geometria descritiva. *In: GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, GRAPHICA*, 7., SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO, 18. 2007. **Proceedings...** Curitiba: 2007. Disponível em: <<http://www.exatas.ufpr.br/portal/degref/graphica2007a/>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
- LUCKESI, Cipriano C. **Avaliação da aprendizagem escolar: estudos e proposições**. 19. ed. São Paulo: Cortez, 2008.
- MACHADO, Fernanda A.; RUSCHEL, Regina C.; SCHEER, Sergio. Análise bibliométrica da produção brasileira de artigos científicos na área de BIM. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC*, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- MARAGNO, Gogliardo V. Questões sobre a qualificação e o ensino de arquitetura e urbanismo no Brasil. *In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO*, 31., REUNIÃO DO CONSELHO SUPERIOR DA ÁREA, 35., 2012. São Paulo. **Anais...** Disponível em: <http://abea.org.br/wp-content/uploads/2013/03/artigo_maragno-pgn1.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2017.
- MARKUSIEWICZ, Jacek; SLYK, Jan. From shaping to information modeling in architectural education: implementation of augmented reality technology in computer-aided modeling. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015. p. 83-90.
- MATTOS, Antônio C. M. O impacto do computador na empresa. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 18, n. 4, out/dez. 1978. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901978000400005>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- MEC - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Resolução nº 2, de 18 de junho de 2007**. Dispõe sobre carga horária mínima e procedimentos relativos à integralização e duração dos cursos de graduação, bacharelados, na modalidade presencial. Ministério da Educação, 2007. Disponível em:
<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/2007/rces002_07.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2016.
- _____. **Resolução nº 2, de 17 de junho de 2010**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, alterando dispositivos da Resolução CNE/CES nº 6/2006. Ministério da Educação, 2010. Disponível em:
<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=5651-rces002-10&category_slug=junho-2010-pdf&Itemid=30192>. Acesso em: 31 mai. 2016.
- MEDEIROS, Marina L.; PARAIZO, Rodrigo C. Palácio Monroe em realidade aumentada: experiência patrimonial de um território informacional. *In: SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI*, 19., 2015, Florianópolis. **Proceedings...** Palhoça: Rocha Gráfica e Editora Ltda, 2015. p. 170-176.
- MEIGUINS, Bianchi S.; ALMEIDA, Igor de S.; OIKAWA, Marina A. Cartões Marcadores Reconfiguráveis em Ambientes de Realidade Aumentada. *In: Symposium on Virtual Reality*, 8., 2008, Pará. **Proceedings...** Pará: 2008.

MENEZES, G. L. B. B. Breve histórico de implantação da plataforma BIM. **Caderno de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte, v. 18, n. 22, p. 153-171, 2011.

MILOVANOVIC, Julie et al. Virtual and Augmented Reality in architectural design and education: an immersive multimodal platform to support architectural pedagogy. *In*: COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN FUTURES, CAAD Futures, 17., 2017, Istambul. **Proceedings...** Istambul: Istanbul Technical University, 2017.

MIRANDA, Guilhermina L. Limites e possibilidades das TIC na educação. Sísifo. **Revista de Ciências da Educação**, 2007, n. 3, mai./ago. 2007. p. 41-50. Disponível em: <<http://ticsprojeja.pbworks.com/f/limites+e+possibilidades.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

MOKHTAR, Ahmed. BIM as learning media for building construction. *In*: COMPUTER-AIDED ARCHITECTURAL DESIGN RESEARCH IN ASIA, CAADRIA, 12., 2007, Nanquim. **Proceedings...** China: Southeast University and Nanjing University, 2007. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/caadria2007_119.content.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2017.

MOLINA, Maurício L. A.; JUNIOR, Waldyr A. O ensino/aprendizagem do BIM no curso de engenharia civil da UFJF. *In*: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, VII., 2015, Recife. **Anais...** Recife: 2015.

MONAT, André; CAMPOS, Jorge L. de; LIMA, Ricardo C. Metaconhecimento: um esboço para o design e seu conhecimento próprio. **Biblioteca Online de Ciências da Comunicação**, BOCC, p. 1-13, 2008. Disponível em: <<http://www.bocc.ubi.pt/pag/monat-campos-lima-metaconhecimento.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

MORAES, Roque. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

MOREIRA, Lorena C. de S.; RUSCHEL, Regina C. Realidade Aumentada na visualização de soluções de projeto de arquitetura. *In*: SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 19., 2015, Florianópolis. **Proceedings...** Palhoça: Rocha Gráfica e Editora Ltda, 2015. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/realidade-aumentada-na-visualizacao-de-solues-do-projeto-de-arquitetura-22319>>. Acesso em: 01 mai. 2017.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 128p

MORTICE, Zach. Equipamento de "visão raio-x" permite que arquitetos vejam através das paredes de uma obra, 2017. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/875057/equipamento-de-visao-raio-x-permite-que-arquitetos-vejam-atraves-das-paredes-de-uma-obra>>. Acesso em: 17 dez. 2017.

MOURA, Larissa R. de. **A reconstrução virtual na salvaguarda do patrimônio histórico: o caso Palacete Fellet**. 2017. Dissertação (Mestrado profissional em projeto e patrimônio) – PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

MULLER, Leonardo. **10 Novas tecnologias de construção que podem mudar o mundo**. dez. 2015. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/invencao/91745-10-novas-tecnologias-construcao-mudar-mundo.htm>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

NASCIMENTO, Luiz A.; SANTOS, Eduardo T. A contribuição da Tecnologia da Informação ao processo de projeto na construção civil. *In*: WORKSHOP GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. **Anais...** São Carlos: 2001. Disponível em: <http://www.lem.ep.usp.br/gpse/es23/anais/A_CONTRIBUICAO_DA_TECNOLOGIA_DA_INFORMACAO.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2017.

_____. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2003. <http://petengenharias.com.br/wp-content/uploads/2014/10/3443-11810-1-PB.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2017.

NEIVA NETO, Romeu da S.; RUSCHEL, Regina C. BIM aplicado ao projeto de fôrmas de madeira em estrutura de concreto armado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 183-201, out./dez. 2015.

NETTO, Antonio V.; MACHADO, Liliâne dos S.; OLIVEIRA, Maria C. F. de. Realidade Virtual: definições, dispositivos e aplicações. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica**, REIC, v. 2, n. 1, mar. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Valerio_Netto/publication/252019436_Realidade_Virtual_-_Definicoes_Dispositivos_e_Aplicacoes/links/572355a808ae262228aa664c/Realidade-Virtual-Definicoes-Dispositivos-e-Aplicacoes.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2018.

NICOL, Murray. What can we expect from the next industrial revolution? *In: WEF - World Economic Forum*. set. 2015. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2015/09/navigating-the-next-industrial-revolution2/>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

OLIVEIRA, Marina R. de. **Modelagem virtual e prototipagem rápida aplicadas em projetos de arquitetura**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

OLIVEIRA, Marina R. de; FABRÍCIO, Márcio M. A prototipagem rápida no ensino de projeto de arquitetura. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBQP, 1., WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 9., 2009, São Carlos. Anais...* São Carlos: PPGAU/EESC/USP; Rima editora, 2009. p. 634-644.

PARAIZO, Rodrigo C. Realidade Virtual. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 170-171.

PAULA, Kênia A. de. **Integração do conforto ambiental ao processo de ensino-aprendizagem de projeto arquitetônico com o uso de aplicativos em dispositivos móveis**. 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.

PILETTI, Claudino. **Didática Geral**. 23ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2004. 258 p.

PINTO, Fernando C. G. **Papo Cabeça**. São Paulo: LeYa, 2014.

PONTES, Mateus M. Sistemas BIM no ensino de arquitetura: uma investigação do processo de ensino de geometria descritiva e desenho arquitetônico através de elementos construtivos virtuais. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 17., 2013, Valparaíso. Proceedings...* Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013. p. 569-571.

PUPO, Regina T. **Inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto: um novo desafio para o ensino de arquitetura**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas. 2009.

_____. Fabricação digital. *In: BRAIDA, F. et al. 101 Conceitos de Arquitetura e Urbanismo na Era Digital*. São Paulo: ProBooks, 2016. p. 98-99.

QUINTELLA, Ivvy P. C. P. et al. **Fab Labs**: A expansão da rede brasileira e sua inserção no contexto acadêmico e no ensino de engenharia. s/d. Disponível em: <http://104.152.168.36/~fablearn/wp-content/uploads/2016/09/FLBrazil_2016_paper_70.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2017.

QUINTELLA, Ivvy P. C. P.; FERREIRA, Ítalo C.; FLORÊNCIO, Eduardo Q. Making pavilions: Os pavilhões temporários no contexto das faculdades de arquitetura e urbanismo. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 20., 2016, Buenos Aires. Proceedings...* Buenos Aires: 2016. p. 318-325.

REBELO, Iria B. **Realidade virtual aplicada à arquitetura e urbanismo: representação, simulação e avaliação de projetos**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

RIGHI, Thales A. F. **Displays interativos como ferramentas de comunicação no processo de projeto de arquitetura**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, São Paulo. 2009.

RIGHI, Thales A. F.; CELANI, Gabriela. Displays interativos como ferramenta de comunicação no processo de projeto de arquitetura. *In: GRAPHICA, 2007, Curitiba. Anais...* Curitiba: 2007. Disponível em: <http://www.exatas.ufpr.br/portal/docs_degraf/artigos_graphica/DISPLAYS.pdf>. Acesso em: 13 abril. 2017.

RIMKUS; Carla M. F.; GALVÃO, Fernando de M. Realidade Aumentada: visualização tridimensional e interatividade na documentação do patrimônio arquitetônico. *In: SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGRADI, 17., 2013, Valparaíso. Proceedings...* Viña del Mar: Degrafis Servicios Gráficos Ltda, 2013.

RHEINGANTZ, Paulo A. **A construção do conhecimento no atelier de projeto de arquitetura: em busca de uma metodologia de ensino fundamentada no paradigma da complexidade**. 2000. Projeto de Pesquisa – PROARQ, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

_____. Por uma arquitetura da autonomia: bases para renovar a pedagogia do ateliê de projeto de arquitetura. **ARQTEXTO**, n. 6. 2005. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/propar/publicacoes/ARQtextos/PDFs_revista_6/04_Paulo%20Afonso%20Rheingantz.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2017.

_____. Projeto de arquitetura: processo analógico ou digital? **Gestão e Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v. 11, n. 1, p. 95-102, jan./jun. 2016.

RODRIGUES, Claudia S. C.; PINTO, Ricardo A. M.; RODRIGUES, Paulo F. N. Uma aplicação da Realidade Aumentada no ensino de modelagem dos sistemas estruturais. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, Passo Fundo, v.2, n. 2, p. 81-95, set. 2010

RODRIGUEZ, Virginia L. da S. **É ensinando que se aprende**: as práticas atuais de ensino de projeto no curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (CAU-UFRN). 2008. 204f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte. 2008.

RUSCHEL, Regina C. To BIM ou not to BIM? *In*: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, ENANPARQ, 3., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie; Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2014.

RUSCHEL, Regina C.; ANDRADE, Max L. V. X.; MORAIS, Marcelo de. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 151-165, abr./jun. 2013.

SALGADO, Mônica S. Arquiteto de amanhã: caminhos para a formação profissional. *In*: NUTAU, 2004a. São Paulo. **Anais...** Disponível em: <<http://www.proarq.fau.ufrj.br/pesquisa/geparq/wp/15.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

_____. Produção arquitetônica e interdisciplinariedade: uma discussão sobre o processo de projeto e a ISO 9001/2000. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004b. São Paulo. **Anais...** Disponível em: <<http://www.proarq.fau.ufrj.br/pesquisa/geparq/wp/12.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

SALVATORI, Elena. Arquitetura no Brasil: ensino e profissão. **ARQUITETURA REVISTA**, Rio Grande do Sul, v. 4, n. 2, jul/dez. 2008. Disponível em: <<http://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/5471>>. Acesso em 11 mar. 2017.

SANCHO, Juana M. **Para uma tecnologia educacional**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

SANTOS, Altair. **Impressoras 3D constroem casas com concreto cimentado**. Massa cinzenta. 2014b. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/impressora-3d-constroi-casas/>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

SANTOS, Eduardo R.; SALGADO, Mônica S. Verificação de parâmetros na aprovação de projetos visando a modernização do poder público. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBQP, 2017, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

SANTOS, Eduardo T.; BARISON, Maria B. Artigo: BIM e as universidades. **Construção Mercado**, e. 115, fev. 2011. <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/115/o-desafio-para-as-universidades-formacao-de-recursos-humanos-282479-1.aspx>>. Data de acesso: 22 jun. 2015.

SANTOS, Neri dos. **As tendências tecnológicas na Educação**. 2014a. Disponível em: <http://knowtec.com/wp-content/uploads/2014/08/2014_07_28_As-tendencias-tecnol%C3%B3gicas-na-educa%C3%A7%C3%A3o-1.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2017.

SAVIANI, Dermeval. **Escola e democracia: polêmicas do nosso tempo**. 32. Ed. São Paulo: Autores Associados, 1999.

SAVIGNON, Affonso; SALGADO, Mônica S.; LASSANCE, Guilherme. Repensando o uso de protótipos na construção de edifícios. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2012. p. 4139-4145.

SCHÖN, Donald A. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed, 2000. 256 p.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. *In*: **WEF – WORLD ECONOMIC FORUM**. jul. 2016. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

_____. **The fourth industrial revolution**. Nova York: Crown Business, 2017.

SEABRA, Rodrigo D.; SANTOS, Eduardo T. Utilização de técnicas de realidade virtual no projeto de uma ferramenta 3D para desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. **Revista Educação Gráfica**, Bauru, n.9, p.111-122, 2005.

SEILER, Uwe T.; KOCH, Volker; BOTH, Petra von. Immersive virtual simulation of spaces. *In*: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015.

Disponível em: <http://papers.cuminCAD.org/cgi-bin/works/Show?ecaade2015_72>. Acesso em: ago. 2017.

SHIMOMURA, Alessandra R. P.; FROTA, Anesia B.; CELANI, Gabriela. Modelos físicos na análise de ventilação urbana: o uso do túnel de vento. **FORUM PATRIMÔNIO: ambiente construído e patrimônio sustentável**, Belo Horizonte, v.4, n.1, jan./jun. 2010. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/43/38>. Acesso em: set. 2017.

SILVA, Fábio D. de A. **Arquitetura e as tecnologias de informação: da revolução industrial à revolução digital**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Artes, São Paulo. 1997.

SIMON, Roberto R. A organização da profissão do arquiteto frente ao cooperativismo de crédito. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, PósARQ, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2010.

SOUZA, Cristiano. **O desaparecimento de algumas profissões e a criação de novos conceitos**. 2 set. 2015. Disponível em: <<http://www.rhportal.com.br/artigos-rh/o-desaparecimento-de-algumas-profisses-e-a-criacao-de-novos-conceitos/>>. Acesso em: 18 abr. 2017

SOUZA, S. C.; DOURADO, L. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **HOLOS**. Rio Grande do Norte, ano 31, v. 5, mar./set. 2015. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/2880/1143>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

STANGE, Fabiano P. **Protótipo de ambiente virtual educacional para atividade típica da construção civil brasileira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Paraná.

SVINICKI, Marilla; MCKEACHIE, Wilbert J. **Dicas de ensino: estratégias, pesquisa e teoria para professores universitários**. 13. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

TECHEL, Florian; NASSAR, Khaled. Teaching building information modeling (BIM) from a sustainability design perspective. *In: Arab Society for Computer Aided Architectural Design, ASCAAD*, 3., 2007, Alexandria. **Proceedings...** Egypt: The Arab Society for Computer Aided Architectural Design, 2007.

TIBÚRCIO, Túlio M. de S.; BRAZ, Zoleni L.; NATALINO, Maria Luiza R. Relação entre o Espaço da Sala de Aula, as Novas Tecnologias e o Ensino de Projeto de Arquitetura. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

TPE - TODOS PELA EDUCAÇÃO; INSTITUTO INSPIRARE. **Inovações tecnológicas na educação: contribuições para gestores públicos**. 2014. Disponível em: <<http://www.todospelaeducacao.org.br/biblioteca/conteudo-tpe/1497/inovacoes-tecnologicas-na-educacao-contribuicoes-para-gestores-publicos/>>. Acesso em: 23 mar. 2017.

TRIMBLE. **Tekla BIMsight**. Disponível em: <<http://www.teklabimsight.com/>>. Acesso em: 09 mai. 2017.

TURRA, Clódia M. G. et al. **Planejamento de ensino e avaliação**. 8. ed. Porto Alegre: PUC-EMMA, 1975.

VARELA, Pedro de A.; SOUSA, José P. Digital flow in stone heritage buildings: the nasoni keystone experiment. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE*, eCAADe, 33., 2015, Viena. **Proceedings...** Brussels: Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Vienna: Faculty of Architecture and Urban Planning, TU Wien, 2015.

VAZ, Adriana; ANDRADE, Andrea F.; SILVA, Rossano. Modelando coberturas no Sketchup: uma experiência didática. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA DESCRITIVA E DESENHO TÉCNICO*, 20., GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 9., 2011, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: UFRJ, Escola de Belas Artes, 2011.

VILELLA, João P.; LIMA, Fernando; ZANCANELI, Mariana. Reflexões sobre a simulação ambiental e BIM: uma abordagem pedagógica em Arquitetura e Urbanismo. *In: SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, SIGraDi*, 19., 2015, Florianópolis. **Proceedings...** São Paulo: Blucher, 2015. p. 756-760. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/sigradi2015/sp10236.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian; SCHULTMANN, Frank. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109-127, 2014.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **New vision for education: fostering social and emotional learning through technology**. 2016. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/new-vision-for-education-fostering-social-and-emotional-learning-through-technology/>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

WU, Chengde; CLAYTON, Mark. J. BIM-based acoustic simulation framework. *In: CIB W78 International Conference*, 30., 2013, Beijing. **Proceedings...** China: 2013. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/304625903_BIM-Based_Acoustic_Simulation_Framework>. Acesso em: 30 mai. 2016.

YAN, Wei; LIU, Geqing. BIMGame-integrating BIM and Games to enhance sustainable design and education. *In: EDUCATION AND RESEARCH IN COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN IN EUROPE, eCAADe, 25.*, 2007, Frankfurt am Main. **Proceedings...** Germany: Faculty of Architecture and Civil engineering, FH Wiesbaden, 2007. Disponível em: <https://cumincaad.architecturez.net/system/files/pdf/ecaade2007_188.content.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2017.